

مجلة علمية فصلية تصدرها مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية • السنة الحادية والعشرون • العددان الثالث والثمانون والرابع والثمانون • شوال ١٤٢٨ هـ /أكتوبر ٢٠٠٧ م

التقنية متناهية الصغر

(الجزء الثاني)

- المرشحـــــات
- التطبيقات العسكرية
- خـلايا الوقـود

ISSN 1017 3056

بسم الله الرحمن الرحيم

منهاج النشر

أعزاءنا القراء :

يسرنا أن نؤكد على أن المجلة تفتح أبوابها لمساهماتكم العلمية واستقبال مقالاتكم على أن تراعى الشروط التالية في أي مقال يرسل إلى المجلة :ـ

١ـ يكون المقال بلغة علمية سهلة بشرط أن لا يفقد صفته العلمية بحيث يشتمل على مفاهيم علمية وتطبيقاتها .

٢ـ أن يكون ذا عنوان واضح ومشوق ويعطي مدلولاً على محتوى المقال .

٣ـ في حالة الاقتباس من أي مرجع سواء كان اقتباساً كلياً أو جزئياً أو أخذ فكرة يجب الإشارة إلى ذلك ، وتذكر المراجع لأي اقتباس في نهاية المقال .

٤ـ أن لا يقل المقال عن ثماني صفحات ولا يزيد عن أربع عشرة صفحة مطبوعة .

٥ـ إذا كان المقال سبق أن نشر في مجلة أخرى أو أرسل إليها يجب ذكر ذلك مع ذكر اسم المجلة التي نشرته أو أرسل إليها .

٦ـ إرفاق أصل الرسومات والصور والنماذج والأشكال المتعلقة بالمقال .

٧ـ المقالات التي لا تقبل النشر لا تعاد لكاتبها .

يمنح صاحب المقال المنشور مكافأة مالية تتراوح مابين ٣٠٠ إلى ٥٠٠ ريال .

محتويات العدد


تقنية النانو في المياه


تقنية النانو في العزل الحراري


الإلكترونيات المطبوعة

المراسلات

رئيس التحرير

مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية ـ الإدارة العامة للتوعية العلمية والنشر

ص.ب ٦٠٨٦ ـ الرمز البريدي ١١٤٤٢ ـ الرياض

هاتف: ٤٨٨٣٤٤٤ ـ ٤٨٨٣٥٥٥ ـ ناسوخ (فاكس) ٤٨١٣٣١٣

البريد الإلكتروني : jscitech@kacst.edu.sa

Journal of Science & Technology

King Abdulaziz City For Science & Technology

Gen. Direct. of Sc. Awa. & Publ. P.O. Box 6086

Riyadh 11442 Saudi Arabia

العلوم والتقنية





قراءنا الأعزاء

تعد التقنية متناهية الصغر من التقنيات الحديثة التي ظهرت على الساحة العلمية والتقنية في عصرنا الحاضر، ولهذا يتوقع العلماء أن يكون لها دوراً كبيراً في جميع مناحي الحياة.

قراءنا الأعزاء

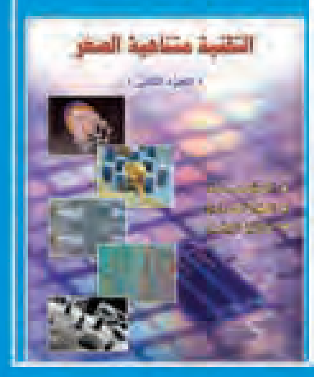
لقد دخلت التقنية متناهية الصغر في تطبيقات عدة ، ففي مجال تقنية المياه تمثل دورها في المعالجة الأولية، وإزالة السموم والملوثات منها، وقياس جودتها النوعية، إضافة إلى تطبيقاتها المتعددة في مرشحات المياه، أما في مجال صناعة البناء فيتوقع أن تساهم في تحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة ، وتحديد أهم التحديات التي تواجه هذه التقنية في هذا المجال، إضافة إلى تطبيقاتها الواعدة في مجال العزل الحراري للمباني، مما يقلل من استهلاك الطاقة في كل من التدفئة والتبريد. كما دخلت التقنية متناهية الصغر في مجال الصناعات البترولية والبتروكيميائية فأصبح لها دوراً إيجابياً في ظهور محفزات نانوية تتمتع بكفاءة عالية تفوق ما سبقها. أما في مجال الإلكترونيات والضوئيات فتشير جميع الدلائل إلى أن التقنية المتناهية الصغر سيكون لها شأن عظيم، حيث سيصبح بالإمكان طباعة الدوائر الإلكترونية بالطابعات الشخصية على مواد رخيصة الثمن باستخدام أحبار خاصة - تتمتع بخواص المواد شبه الموصلة - يتم إنتاجها بواسطة التقنية متناهية الصغر. كما أصبح لها دورا في الطب، حيث تستخدم في إيصال الدواء إلى أي جزء من الجسم. وفي مجال الطاقة ساهمت في صناعة خلايا الوقود، مما سيؤدي إلى ثورة هائلة في مجال الطاقة النظيفة، ولم يقتصر ذلك على الاستخدامات السلمية بل تعداه إلى التطبيقات العسكرية التي تنذر بخطورة عظيمة على حياة البشر.

قراءنا الأعزاء

يسعدنا في هذا العدد أن نقدم لكم الجزء الثاني - تأخر إصداره لظروف خارجة عن إرادتنا - مع الجزء الثالث من التقنية متناهية الصغر والذي سيغطي بإذن الله المواضيع المذكورة آنفاً، إضافة إلى الأبواب الثابتة التي درجت المجلة على التطرق إليها في كل عدد.

والله من وراء القصد وهو الهادي إلى سواء السبيل،،،

العلوم والتقنية





مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

المركز الوطني للتقنية متناهية الصغر

إدراكاً من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية للأهمية الحيوية للتقنيات متناهية الصغر (تقنيات النانو) وتطبيقاتها الواسعة والواعدة في مجالات الصناعة والصحة والزراعة والبيئة وغيرها، وللاستفادة من هذه التقنيات وانعكاساتها التنموية فقد بادرت المدينة بإنشاء المركز الوطني للتقنية متناهية الصغر بتاريخ ١/١١/١٤٢٦هـ.

يهدف إنشاء المركز الوطني لبحوث التقنيات متناهية الصغر إلى:

١ـ نقل وتوطين التقنيات متناهية الصغر في المملكة، واستخدامها لتلبية الاحتياجات الوطنية ومتطلبات التنمية في المجالات الصناعية والصحية والزراعية والبيئية وغيرها.

٢ـ تأسيس البنية التحتية لتلك التقنية عن طريق إنشاء مختبرات متكاملة ومجهزة لخدمة الباحثين والجهات ذات العلاقة.

٣ـ تحفيز القطاع الخاص للاستثمار في مجال التقنيات متناهية الصغر، والاستفادة من تلك المختبرات مما يؤدي إلى تخفيض التكاليف المبدئية للمستثمرين.

الاختصاصات

تشمل اختصاصات المركز مايلي:

١ـ رسم وتوجيه وتطوير السياسات الوطنية في مجال التقنيات متناهية الصغر.

٢ـ وضع آليات لاستفادة القطاع الحكومي والخاص والباحثين من مختبرات التقنيات متناهية الصغر ونتائج الأنشطة العلمية والبحثية في هذا المجال، وتسويق منتجات المركز للقطاعات ذات العلاقة.

٣ـ إجراء البحوث الوطنية في المجالات التي يمكن فيها توظيف التقنيات متناهية الصغر؛ لتطوير القطاعات المختلفة: الصناعية والصحية والزراعية والبيئية وغيرها.

٤ـ التنسيق مع القطاعات البحثية والعلمية الوطنية لتشجيع التعاون في البحث والتطوير في مجال التقنيات متناهية الصغر.

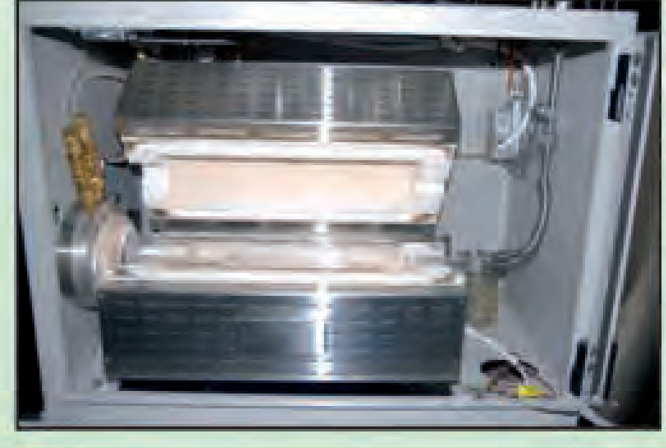
٥ـ إنشاء قاعدة بيانات وطنية لحصر الإمكانات العلمية والفنية المتعلقة بالتقنيات متناهية الصغر، بما في ذلك الكوادر العلمية.

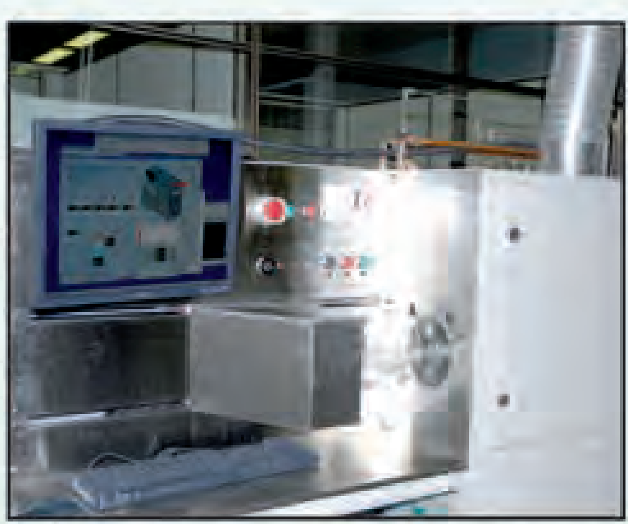
٦ـ التعاون مع الجامعات ومراكز البحوث لتطوير مستوى الباحثين والفنيين بها في مجال التقنيات متناهية الصغر.

٧ـ تبني وتنسيق برامج تعاون علمي وبحثي مع القطاعات المتخصصة محلياً وعالمياً.

٨ـ حث القطاع الخاص على الاستثمار في مجال التقنيات متناهية الصغر الواعدة.

٩ـ تقديم الاستشارات والدراسات الاستراتيجية في مجال التقنيات متناهية الصغر عن طريق تكوين مجاميع عمل استشارية.





مجال التقنيات متناهية الصغر؛ بناءً على احتياجات المملكة الحالية والمستقبلية، وتتمثل اختصاصاته فيما يلي:-

١- تحديد مجالات البحوث في مجال التقنيات متناهية الصغر؛ بناءً على احتياجات المملكة.

٢- إنشاء مجاميع عمل من جميع قطاعات البحث العلمي في المملكة في كل مجالات البحث في التقنيات متناهية الصغر.

٣- إجراء مراجعة دورية لنتائج البحوث في مجال التقنيات متناهية الصغر.

٤- تنفيذ البرامج التدريبية، وعقد المؤتمرات العلمية في مجال التقنيات متناهية الصغر.

٥- تسويق مخرجات البحث العلمي في مجال التقنيات متناهية الصغر لدى القطاع الخاص.

١٠- تمثيل المملكة في المنظمات والمناشط العلمية.

١١- اقتراح البرامج لتطوير القوى البشرية بالمركز بالتدريب والابتعاث.

١٢- تطوير إجراءات وأساليب العمل بالمركز بالتنسيق مع إدارة التطوير الإداري.

١٣- اقتراح تنظيم النشاطات العلمية والإدارية التي تدخل ضمن اختصاص المركز.

١٤- المساهمة في نشر الوعي العلمي والتقني في المجتمع في مجال اختصاصات المركز.

١٥- إعداد مشروع الميزانية السنوية للمركز.

١٦- رفع تقارير دورية عن أداء المركز.

مشاريع المركز

قام المركز خلال المدة القصيرة من إنشائه باعتماد وإنشاء البرامج والمشاريع التالية:-

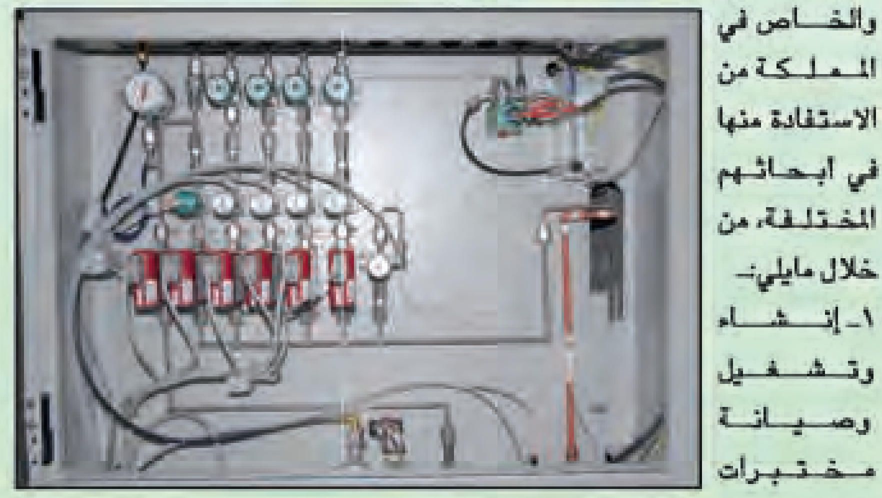
● برنامج بحوث التقنيات متناهية الصغر

يهدف هذا البرنامج إلى وضع أولويات واستراتيجيات البحث في

● مختبرات التقنيات متناهية الصغر

تهدف هذه المختبرات إلى تمكين الباحثين في القطاعين الحكومي والخاص في المملكة من الاستفادة منها في أبحاثهم المختلفة، من خلال مايلي:-

١- إنشاء وتشغيل وصيانة مختبرات



التقنيات متناهية الصغر.

٢- جدولة استخدام هذه المختبرات بين الباحثين في المملكة.

٣- تدريب الباحثين على استخدام الأجهزة المتوفرة والاستفادة منها.

الخطة المستقبلية

بالتوازي مع الجهود السابقة؛ فإن المركز بصدد وضع استراتيجية واضحة لنقل وتوطين واستثمار تطبيقات التقنية متناهية الصغر، وتنفيذها على أيدي العلميين السعوديين العاملين في المركز والأكاديميين من الجامعات في المملكة، وبالتعاون مع لجنة وطنية استشارية وخبراء دوليين من الجامعات المتعاونة مع المركز، وستكون هذه الاستراتيجية متوافقة مع برامج ومشاريع الخطة الوطنية الشاملة بعيدة المدى للعلوم والتقنية للمدة مابين ١٤٢٦-١٤٤٥هـ، والتي دخلت في حيز التنفيذ. كما باشرت في تدريب وإعداد الكوادر الوطنية لتنفيذ هذه الاستراتيجية.

مجاهر مختبر النانو

إعداد: د. جعفر بن فرحان الشراب

تعرف مجاهر النانو بأنها تلك المجاهر والأجهزة التي تستطيع فحص ورؤية الأشياء بمقياس النانومتر. وفي العصر الحاضر تعددت تلك الأجهزة وتنوعت نتيجة للثورة الهائلة في هذه التقنية والتوجه العالمي نحو الاستفادة منها. وفي الوقت الحاضر هناك ثلاثة مجاهر لا يكاد يخلو منها أي مختبر من مختبرات التقنية متناهية الصغر.

يستعرض هذا المقال تلك المجاهر التي جهزت حديثاً - تعمل حالياً - بالمركز الوطني للتقنية متناهية الصغر التابع لمدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية من حيث التحديثات التي أدخلت عليها وطريقة عملها والاختلاف فيما بينها.

المجهر الإلكتروني النفّاذ

كان المجهر الضوئي في الماضي الأكثر استخداماً نظراً لسهولته، ونظراً لأن درجة الوضوح في هذا النوع من المجاهر تعتمد على طول موجة الضوء المستخدم. وبما أن طول موجة الضوء المرئي تتراوح ما بين ٤٠٠-٧٠٠ نانومتر - كبيرة نسبياً - فإن درجة الوضوح تقل مقارنة بالمجاهر الإلكترونية الأخرى. ومع إمكانية استخدام الأشعة فوق البنفسجية - طولها الموجي أقصر من الطول الموجي للضوء المرئي - إلا أن ظهور مشكلة الامتصاص قللت من فعالية استخدامها، وحتى الأشعة ذات الطول الموجي الأقصر، مثل الأشعة السينية، لا يمكن استخدامها لأنها تتفاعل مع العينة.

وللتغلب على المشاكل المذكورة قام العالمان **البرت بيربوس وجيمس هيلير** عام ١٩٢٧م من جامعة تورنتو: باختراع مجهر يستخدم الإلكترونات بدلاً من الأشعة فيما يعرف بالمجهر الإلكتروني النفاذ (Transmission electron microscope-TEM) وهو عبارة عن: تقنية تصوير تستخدم فيه حزمة من الإلكترونات، بدلاً من الضوء المرئي، من خلال العينة فتتكون صورة مكبرة يمكن مشاهدتها على شاشة فسفورية، أو تطبع على فيلم تصوير. ويمكن ملاحظتها من خلال حساس مثل الـ (CCD Camera). كما يختلف المجهر الإلكتروني النفاذ عن المجهر الضوئي في أن عدسات إلكترومغناطيسية يتم التحكم ببعدها البؤري أو قوتها عن طريق التحكم في التيار المار عبرها؛ لذا فإنه يمكن رؤية ترتيب



● شكل (١) الأجزاء الرئيسة للمجهر الإلكتروني النفاذ.

الذرات بشكل مباشر عن طريق تكوين حزمة من الإلكترونات ذات أقطار معينة، كما أن تحريكها فوق مساحة معينة تعطي معلومات عن التركيب الكيميائي للمادة المراد فحصها.

يعد المجهر الإلكتروني النفاذ من الأجهزة عالية الدقة في التحليل الكيميائي للعينات بحيث يمكن معرفة أنواع العناصر - المركبات - الموجودة في العينة، وأماكن توزيعها، وتركيبها؛ لذا فإنه يحتاج إلى مهارة عالية ومعرفة كافية بتحليل النتائج، وإلا سوف يحدث اختلاط بين المعلومات المفيدة وغيرها.

● **مبدأ العمل**

يعتبر مبدأ العمل في المجهر الإلكتروني النفاذ، شكل (١) مشابهاً لمبدأ عمل المجهر الضوئي من حيث أن كلاً منهما يحتوي على عدسات شيئية لتكوين الصور، إلا أنه يتم استبدال الضوء في المجهر النفاذ بحزمة من الإلكترونات منبعثة (Extracted) من مصدر إلكترونات معين يسمى الفتيلة (Filament)، ويكون عادة مصنوع من مادة سداسي لانثيوم البورون (LaB6) أو التنجستون، ثم يتم تسريع هذه الإلكترونات في أنبوب مفرغ تحت ضغط ١٠-٧ تور (Torr)* على عدة مراحل لتوليد طاقة تتراوح بين ١٠٠-٤٠٠ كيلو فولت، ثم تمر هذه الإلكترونات خلال عدسة شيئية (Objective Lens) ومن ثم خلال العينة.

* (Torr) وحدة لضغط السائل بضغط عمود من الزئبق ارتفاعه ١ مليمتر، وتنسب هذه الوحدة إلى العالم الإيطالي توريشلي مكتشف الضغط الجوي.

يجب أن يكون سمك العينة أقل من ١٠٠ نانو متر من أجل الحصول على معلومات مفيدة، وبعد مرور الإلكترونات خلال العينة فإنها تمر من خلال عدسات وسطية، فيتم تكوين الصورة النهائية إما على لوحة فسفورية أو على سطح (CCD)، بحيث تظهر الصورة على جهاز الحاسوب (CCD Camera).

● أنظمة المجهر

يتمتع هذا المجهر بإمكانات عالية نتيجة لاستخدامه عدداً كبيراً من أنظمة التشغيل التي يؤدي كل منها وظائف أو مهام معينة، وبالتالي الحصول على عدة معلومات حسب نظام التشغيل المستخدم (Mode)، ويمكن تلخيص تلك الأنظمة فيما يلي:-

* **نظام التصوير العادي:** ويمكن من خلال الأشعة النافذة (Transmitted Beam) تكوين صور ذات تكبير عالٍ تصل إلى ٣٩٠ ألف مرة، وبالتالي إمكانية إعطاء هذا النظام معلومات جيدة عن طبيعة المادة وتركيبها وحجم البلورات في المواد متعددة البلورات.

* **نظام ظاهرة الإنحراف (Diffraction Mode):** ويتمثل في قيام العدسة الشيئية ببعثرة الإلكترونات للحصول على طراز معين من الانحراف (Diffraction Pattern-DP)، ثم تكوين صورة لها تستقبل على شاشة فسفورية، أو تطبع على فيلم. ومن أجل اختيار المنطقة التي يراد الحصول على نموذج انحراف لها؛ فإنه يتم إدخال قرص ذي ثقب، ويوضع الثقب على المنطقة المراد دراستها. أما المناطق الأخرى فتكون محجوبة، وهذا يعرف بحاجز الانحراف (Diffraction Aperture). ويوضح الشكل (٢) الفرق بين نظام التصوير العادي ونظام الانحراف.

● شكل (٢) الفرق بين نظام التصوير العادي ونظام الإنحراف في المجهر الإلكتروني النفاذ.

تكمن أهمية استخدام نظام الانحراف في معرفة مدى التبلور في العينات المراد دراستها، أو معرفة ما إذا كانت الذرات مرتبة بشكل بلوري أو عشوائي(Amorphous) . كما يتم عن طريق هذا النظام معرفة ما إذا كانت العينة تتكون من بلورة واحدة أو من بلورات متعددة، يوضح الشكل (٣) أمثلة على ذلك.

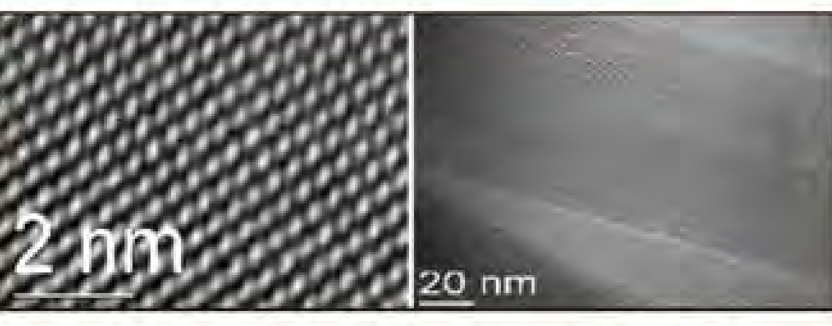
قد لا تكاد تخرج نماذج الانحراف عن ما يبدو في الصور السابقة، إلا أنها قد تكون أكثر تداخلاً، خصوصاً عند وجود أكثر من طور أو مرحلة (Phase)، إذ يجب ملاحظة أنه في كل من هذه النماذج الثلاثة توجد أشعة نافذة في المنتصف، وأخرى منحرفة (Diffracted)، حيث تعطي المسافة بينهما فكرة عن المسافة بين ألواح البلورة في المواد أحادية البلورة (Single Crystalline) أو متعددة البلورات أن (Poly Crystalline) . يلاحظ في المواد المتعددة البلورات فإن مدى الاتصال(Continuity) والكثافة في الدوائر(Rings) ، تعطي فكرة عن كمية المادة (Phase) وحجم البلورات(Crystalline Size) . أضف إلى ذلك أنه عندما يتم تكوين حزمة صغيرة من الإلكترونات بقطر يتراوح بين ٢-٥٠ نانو متر، فإنه يتم دراسة الظواهر أو البلورات ذات حجم أكبر من حجم حزمة الإلكترونات بطريقة النفاذ. ويمتاز (TEM)بأنه هو الجهاز الوحيد الذي يحوي هذا النظام.

* **نظام الصور المعتمة (Dark Field Imaging):** وهو عبارة عن تصوير العينة عن طريق الأشعة المنحرفة. ففي حالة المادة متعددة البلورات، تمثل كل دائرة بعد سطح معين (Inter Planar Spacing) أو (D-Spacing)، لذا فإنه يتم اختيار أي أشعة منحرفة يراد دراستها من نظام الانحراف (Diffraction Mode)، وحجز بقية الأشعة عن طريق ما يسمى بموانع دائرية، فتبدو البلورة في هذه الحالة بيضاء ومشعة وما سواها مظلم.

الجدير بالذكر أن هذا النظام يعد من الطرق الجيدة للتمييز بين مادتين مختلفتين، إذا كان هناك تباين واضح في المسافة بين



● شكل (٣) صور بالمجهر الإلكتروني النفاذ يوضح مدى التبلور (أحادية البلورة، متعدد البلورات، غير متبلور)



● شكل (٤)تصوير عالي الدقة لأسلاك نانوية نانومتر من كربيد البورون.

الواح البلورة، ومعرفة حجم البلورات.

*** نظام التصوير عالي الدقة (High Resolution imaging- HRTEM):**

ويتم فيه تكوين صور للعينات على مستوى الذرات، أي أن قوة تكبيره تصل إلى نصف مليون مرة فأكثر، شكل (٤). حيث تتكون الصورة من كلا الشعاعين النافذ والمنحرف، ولذا يجب أن يكون هذا الجهاز على درجة عالية من الموازنة (Alignment)، كما يجب أن تكون نسبة الاهتزاز أو الضوضاء أقل ما يمكن.

تعطي الصور والمعلومات الناتجة من هذا النظام صورة مباشرة لترتيب الذرات والعيوب الموجودة فيها، وكذلك الحدود بين البلورات، أو بين الطبقات الرقيقة المكونة لكل بلورة. ومن أجل الحصول على معلومات كمية فهناك بعض البرامج تساعد على عمل معالجات رياضية مختلفة.

*** نظام التحليل الكيميائي:** وفيه تزود معظم المجاهر الإلكترونية النفاذة الحديثة بأنظمة للتحليل، منها:

١- نظام التحليل الطيفي للطاقة المتفرقة (Energy Dispersive Spectroscopy-EDS):

ويتم عن طريقه معرفة المركبات والعناصر الكيميائية، وذلك بتحليل الأشعة السينية الناتجة عن تفاعل الإلكترونات مع حجم معين من مادة العينة.

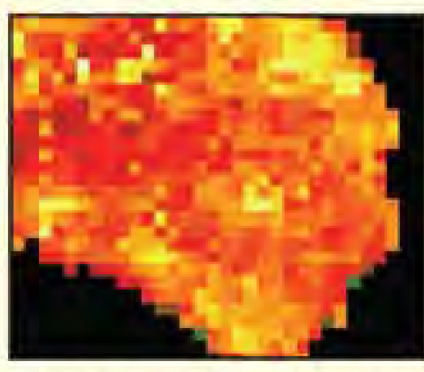
٢- نظام التحليل الطيفي لطاقة الإلكترون المفقودة (Electron Energy Loss Spectroscopy-EELS):

ويتم عن طريقه معرفة المركبات والعناصر الكيميائية، وذلك بقياس مقدار الطاقة الضائعة نتيجة لمرور حزمة الإلكترونات في مساحة معينة.

الجدير بالذكر أن أجهزة التحليل الكيميائي وخصوصاً: نظام التحليل الطيفي لطاقة الإلكترون المفقودة تجاوزت مرحلة معرفة العناصر، وبات من الممكن الحصول من خلالها على معلومات عن بعض العناصر الانتقالية مثل عنصر الحديد (Fe (Fe^{2+} or Fe^{3+} ، شكل(٥).

ومع أن جميع هذه الأنظمة تتميز بدقتها العالية في إنشاء خريطة توزيع العناصر إلا أن لكل منها مميزاته وقدراته الخاصة.

*** أنظمة أخرى:** ومنها نظام خطوط كيكوش (Kikuchi Lines)، والأشعة المركزة (Convergent Beam CBED).



● شكل (٥) صورة للتركيب الدقيق لفلوريد الحديد مأخوذة بمجهر قياس فقد الطاقة الالكتروني.

● تحضير العينات

يتطلب تحضير العينات في المجهر الإلكتروني النفاذ عناية ودقة فائقتين مقارنة بمجهري القوة الذرية والمجهر الإلكتروني الماسح، وعليه يختلف تحضير العينات فيه من حيث إن العينات في هذا المجهر يجب أن تكون صغيرة (أقل من ٢،٥ مليمتر) وذات شفافية للإلكترونات، حيث تبلغ السماكة اقل من ١٠٠ نانومتر. لذا فإن تحضير عينات المجهر الإلكتروني النفاذ من المواد الصلبة تحتاج إلى دقة ومهارة عاليتين من أجل الحفاظ قدر الإمكان على تركيب المادة المراد دراستها، وهذا يتطلب عدة خطوات منها:-

١- تحضير الحجم المناسب.

٢- الكشط(Polishing) حتى تصبح أقل من ١٠ ميكرون.

٣- تقليل سماكة العينة لاقل من ١٠٠ نانومتر، باستخدم طريقة جهاز سحق الايونات (Ion Milling Machine).

في حالة دراسة المساحيق الناعمة(Powders) فإنه يتم وضع المسحوق في محلول ـ عادة ما يكون الكحول ـ ثم توضع نقطة على طبقة كربون (Lacy/Holy Carbon) مدعومة على شبكة نحاسية ذات قطر ٣ مليمتر، ثم التأكد أن حواف المسحوق شفافة للإلكترونات.

هناك طرق أخرى لتحضير عينات المجهر الإلكتروني النفاذ عن طريق ما يسمى بالكشط الإلكتروني (Electro Polish)، تتطلب أن تكون المادة موصلة، فضلاً عن أن الأخطاء الناجمة عن هذه الطريقة هي أكثر من مثيلاتها.

وفي حالة العينات الأحيائية فإنه يتم خلط العينة مع مادة لزجة تتصلب عند درجة حرارة

الغرفة بعد فترة معينة (٨-٣٦ ساعة)، ثم يتم كشط عينات رقيقة منها عن طريق مايسمى بالميكرتوم (Microtome)، ثم توضع العينات على شبكة نحاسية ذات قطر ٣ ملم، ومن ثم تدخل إلى المجهر. أما المواد ضعيفة التوصيل الكهربائي أو عديمة التوصيل فإنه يتم طلاؤها بطبقة رقيقة (١٠-٥٠ انجستروم) من الذهب أو الكربون.

- دقة الجهاز

تعتمد الدقة في المجهر الإلكتروني النفاذ على نوع مصدر الإلكترونات، هل هو حراري؟«Thermionic»، أو عن طريق حقل كهربائي(Field Emission) وعلى طاقتها. ففي حالة المصدر الكهربائي(Field Emission) تصل الدقة في المجهر الإلكتروني النفاذ إلى أجزاء من الانجستروم.

المجهر الإلكتروني الماسح

يستخدم المجهر الإلكتروني الماسح (Scanning Electron Microscope-SEM) حزمة من الإلكترونات، التي تتفاعل مع السطح؛ لينتج عن ذلك عدة إشارات. تتسارع حزمة الإلكترونات في أنبوب مفرغ، وتمر من خلال عدسات الكترومغناطيسية لتكوين الصور والحصول على معلومات عن العينة. وعندما ترتطم الإلكترونات بالسطح وتتفاعل معه تنتج إشارات(Signals) معينة تعطي معلومات عن طبيعة السطح (الطبوغرافيا)، كالمركبات الموجودة والعناصر وأماكن توزيعها، شكل (٦). ويتم الحصول على المعلومات في المجهر الإلكتروني الماسح عن



- شكل (٦) الاجزاء الرئيسة للمجهر الالكتروني الماسح .

طريق عدة إشارات تتلخص في الآتي:

١- الإلكترونات الثانوية (Secondary Electrons) التي تتكون نتيجة تفاعل حزمة الإلكترونات الساقطة من السطح.

٢- الإلكترونات المرتدة (Back Scattered Electrons).

٣- إلكترونات أوجي (Auge Electrons)

٤- الأشعة السينية (X-ray/EDS)

٥- الانحراف في الإلكترونات المرتدة (Electron Back Scattered Diffraction EBSD).

٦- الفوتونات الضوئية.

- أنظمة المجهر

يستخدم هذا المجهر عدداً من الأنظمة - كما في المجهر السابق- حسب الوظيفة والمهمة المراد الحصول عليها، ومن تلك الأنظمة ما يلي:

*** نظام التصوير الماسح:** ويتم من خلاله الحصول على معلومات دقيقة عن طبيعة السطح (الطبوغرافيا) عن طريق تحليل الإلكترونات الثانوية الناتجة عن ارتطام حزمة الإلكترونات الرئيسة بالسطح، ويمتاز المجهر الإلكتروني الماسح: بعمق الوضوح إذ إنه يمكن التفريق بين عينات ذات تباين في الارتفاع(Depth of Focus) يصل إلى مليمترات.

*** نظام التحليل الكيميائي،** ويمكن من خلاله الحصول على معلومات كيميائية إما عن طريق الإلكترونات المرتدة(Back Scattered Electrons)، أو عن طريق الأشعة السينية (EDS).

*** نظام الأشعة المرتدة (Back Scattered Electron):** وفيه تتناسب كثافة الإلكترونات المرتدة (Electron Intensity) تناسباً طردياً مع العدد الذري للعناصر. على سبيل المثال: عند وجود عنصر الإيتيريوم (Y) ذي العدد الذري ٣٩، وعنصر المغنيسيوم (Mg) ذي العدد الذري ١٢ فإن مركب الـ (Y) يميل إلى البياض، بينما يميل عنصر المغنيسيوم (Mg) إلى اللون الرمادي أو الأسود.

*** نظام التحليل الطيفي للطاقة المتفرقة (Energy Dispersive Spectroscop):** وفيه تستخدم الأشعة السينية الناتجة من التفاعل مع سطح العينة؛ لمعرفة أنواع وتوزيع العناصر الموجودة، ولكن تعد دقة هذا النظام أقل من نظيره في المجهر الإلكتروني النفاذ بسبب؛ حجم التفاعل مع السطح في المجهر الإلكتروني الماسح الذي يصل إلى ميكرون واحد.

*** نظام الانحراف:** ويستخدم للحصول على معلومات عن اتجاه ترتيب الذرات في المواد المتبلورة سواء كانت أحادية(Single Crystalline)، أو متعددة البلورات (Poly Crystalline)، ولذا فإنه من خلال هذا النظام يمكن الحصول على نماذج انحراف (Diffraction Patterns) تعطي معلومات عن اتجاه وترتيب الذرات، والعيوب في البلورات، وحجم ومدى ارتباط الذرات بعضها ببعض عن طريق دراسة الحدود بينها.

يتم تحليل المعلومات في هذا النظام عن طريق برامج حاسوبية متخصصة من أجل مقارنته نماذج الانحراف بأخرى مثالية، ومن

ثم رسم خريطة للسطح المدروس.

● **تحضير العينة**

يتم تثبيت العينة في المجهر الإلكتروني الماسح على حوامل خاصة(Stud)، بواسطة كربون لاصق، سواء كانت المادة مسحوق (Powder) أو صلبة. إلا أنه يجب أخذ الحذر لأن بعض المواد قد تعرقل (تؤخر) الحصول على قراءة الفراغ (Vacuum Reading)اللازمة لتشغيل الجهاز.

أيضاً في حالة الرغبة في التحليل أو دراسة العينة عن طريق التحليل الطبقي للمادة (EDS) فإنه يفضل أن يكون سطح العينة أملس نسبياً، وهناك طرق أخرى لمثل هذا التحضير يمكن الرجوع إليها في مواضع أخر.

الجدير بالذكر هنا أنه إذا كانت العينة ضعيفة التوصيل الكهربائي أو غير موصلة؛ فإن ذلك سوف يؤدي إلى تراكم الشحنة، وعرقلة الحصول على معلومات مفيدة؛ لذا فإنه يفضل العمل على استعمال إلكترونات ذات طاقة قليلة - من ١-٢ إلكترون فولت - ما لم تؤثر على المعلومات الكيميائية والدقة في المجهر.

أما إذا تعذر استعمال الإلكترونات ذات طاقة قليلة فإن يمكن طلاء سطح العينة بطبقة رقيقة (١٠-٥٠ انجستروم) من عنصر الكربون أو الذهب.

● **دقة الجهاز**

تعتمد الدقة في المجهر الإلكتروني الماسح على نوع مصدر الإلكترونات، هل هو حراري (Thermionic)؟ أو عن طريق حقل كهربائي(Field Emission) وعلى طاقتها، ففي حالة المصدر الكهربائي(Field Emission)؛ تصل الدقة في أفضل الأحيان إلى ٥ نانومتر.

مجهر القوة الذرية

يختلف مبدأ العمل في مجهر القوة الذرية (Atomic Force Microscope-AFM) عن مبدأ العمل في كل من المجهر الإلكتروني الماسح والمجهر الإلكتروني النفاذ، حيث إن هذا المجهر لا يستخدم الإلكترونات أو الأشعة الإلكترومغناطيسية من أجل الحصول على معلومات أو تكوين صورة، بل يستخدم أشعة الليزر. لذا: فإنه يعتمد على طريقة ميكانيكية من أجل دراسة طبيعة سطح العينة بالأبعاد الثلاثة، ويتم ذلك بتحريك رأس إبري مصنوع من مادة التنجستون(W) ومثبت على ذراع ميكانيكي مرن، شكل (٧).

يجب أن يتراوح قطر الرأس المدبب ما بين ٢-٢٠ نانومتر للحصول على معلومات دقيقة، ولذلك: فهو يحتاج إلى طرق تصنيع دقيقة. ومن أجل تكوين صورة أو دراسة سطح ما؛ فإنه يجب تقريب الرأس المدبب من السطح، ثم تحريك الإبرة على السطح بحيث تبقى القوة على الإبرة ثابتة، ومن ثم يتم معرفة إذا كان هناك انحراف في أشعة الليزر.

● **الأنظمة في مجهر القوة الذرية**

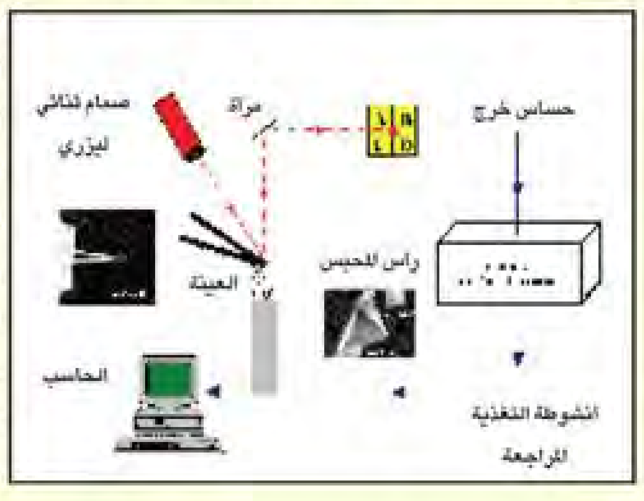
يقوم مجهر القوة الذرية بعملية مسح للسطح عن طريق الإبر المصنوعة من التنجستون؛ من أجل تكوين صور طبوغرافية ثلاثية الأبعاد، وإعطاء معلومات محددة عن التركيب (Phases). ومع أن مجهر القوة الذرية يمتاز بدقة عالية تصل إلى نصف أنجستروم في قياس الارتفاع، إلا أنه يعجز عن دراسة السطوح ذات الخشونة الكبيرة (ملمترات) كما هو الحال في المجهر الإلكتروني الماسح.

وفي أفضل الأحوال فإن مجهر القوة الذرية يعطي معلومات عن السطوح التي تكون خشونتها أقل من ١٠ ميكرون، ومن عيوبه صعوبة دراسة الأشكال ذات الزوايا المنفرجة والأشكال المعقدة. لذا فقد ينصح بأن يستخدم مجهر القوة الذرية من أجل دراسة السطوح الملساء، وهذا لا يمنع أن تدرس أي مواد أخرى إذا تم تلميعها (Polish) لتصبح في مدى قدرة هذا الجهاز.

لا يمكن معرفة العناصر وأماكن وجودها وتوزيعها عن طريق مجهر القوة الذرية كما هو الحال في المجهر الإلكتروني النفاذ، والمجهر الإلكتروني الماسح، إلا أنه يستطيع التفريق بين المركبات عن طريق خصائصها الفيزيائية مثل الاحتكاك، والالتصاق (Adhesion)، والخصائص المغناطيسية والإلكتروستاتيكية، والتوزيع الحراري، والمقاومة، والتوصيلية. لذا يجب أن تكون هناك معرفة سابقة عن تلك المركبات من أجل التفريق بينها.

● **تحضير العينة**

يمتاز مجهر القوة الذرية بأنه لا يحتاج إلى تحضير العينات، وإنما توضع مباشرة تحت الجهاز، أما بالنسبة لطبيعة المواد الممكن دراستها في مجهر القوة الذرية: فإنها تشمل الفلزات، والمركبات، المواد الأحيائية، والمواد البلاستيكية، وتكون تحت ظروف الضغط الجوي أو غيره وأيضاً بوجود سائل أو غاز كوسط. لذا فإن الوقت اللازم للحصول على معلومات مفيدة يعتمد



● شكل (٧) رسم تخطيطي يوضح الأجزاء الرئيسة لمجهر القوة الذرية.

على حجم العينة المراد دراستها، حيث يمكن ذلك في غضون ١-٢ ساعة للحصول على معلومات مفيدة.

- **دقة الجهاز**

تعتمد الدقة في مجهر القوة الذرية على مدى دقة الإبرة، إلا أنه يمكن - في معظم الأحوال - الحصول على دقة تصل إلى ١ / ٢ انجستروم.

تأثر المجاهر بالعوامل البيئية

يمكن مقارنة المجاهر الثلاثة من حيث تأثرها بالعوامل البيئية؛ ومدى قدرة كل جهاز على دراسة الخصائص في ظل الظروف الجوية العادية: كالضغط الجوي، وحرارة الغرفة. ولذلك فإنه من الصعب دراسة العينات في المجهر الإلكتروني النفاذ والمجهر الإلكتروني الماسح تحت الظروف الجوية العادية، وذلك للأسباب التالية:

١- يتمثل مبدأ العمل في كل من المجهر الإلكتروني النفاذ والمجهر الإلكتروني الماسح في تسارع الإلكترونات في أنبوب مفرغ تصل قراءة الفراغ فيه إلى (10^{-7} تور) وذلك من أجل الحصول على معلومات.

٢- من الممكن أن يؤدي تفاعل الإلكترونات مع السطح إلى: ارتفاع موضعي في درجة الحرارة، وذلك بحسب طبيعة المادة وخصائصها الحرارية، فمع أنه يمكن استخدام أصابع وأسلاك نحاسية مغمورة في نيتروجين سائل في المجهر الإلكتروني النفاذ؛ من أجل خفض حرارة العينة؛ لتجنب التصاق الشوائب بها(Avoid Contamination) إلا أنه لا يمكن التحكم بحرارة العينة بدقة عالية.

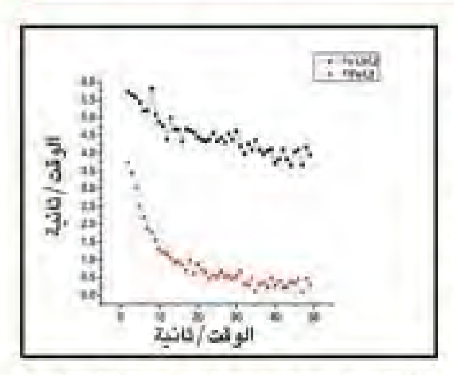
٣- في حالة دراسة مواد ضعيفة التوصيل الكهربائي غير الموصلة: فإن من أفضل الحلول أن يتم طلاء السطح بمادة الكربون أو الذهب (أقل من ٥٠ انجستروم)؛ للتخلص من تراكم الشحنات، وهذا يؤدي بدوره إلى طمس بعض الظواهر على السطح وعدم الحصول على معلومات كيميائية دقيقة، مما يؤدي إلى صعوبة دراسة و تحليل المادة. وقد تستخدم طرق أخرى في المجهر الإلكتروني مثل تقليل طاقة الإلكترونات إلى ١-٢ إلكترون فولت، إلا أن هذا يؤدي أيضاً إلى تقليل الدقة (Resolution)، وطمس بعض المعلومات.

تأثير المجاهر على العينة

يجب عدم إغفال الآثار التي تسببها المجاهر على العينات، لأنه في كثير من الأحيان قد تؤدي إلى تلف المادة وإعطاء معلومات خاطئة إذا لم تستخدم بالطرق الصحيحة. وقد يكون مجهر القوة الذرية أخف هذه الأجهزة تأثيراً على المادة المراد دراستها، إلا في حالات التصاق الإبرة بالسطح إذا كانت العينة لاصقة.

أما في حالة المجهر الإلكتروني النفاذ والمجهر الإلكتروني الماسح: فإن مدى ومقدار إتلاف المادة عن طريق الإشعاع (Radiation Damage) يعتمد على عدة عوامل، منها: طاقة الإلكترونات، ومدى تركيزها، وطبيعة العينة المراد دراستها، ومساحة المنطقة المعرضة للإلكترونات. لذا فإن مقدار التلف في المجهر الإلكتروني الماسح أقل خطورة من المجهر الإلكتروني النفاذ بسبب قلة طاقة الإلكترون نسبياً (أقل من ٣٠ كيلو فولت).

أما بالنسبة للمجهر الإلكتروني النفاذ فإنه نظراً لطاقة الإلكترونات العالية (١٠٠-٤٠٠ كيلو فولت) فإن فرص تلف المادة وتكسير الروابط بها تكون عالية. على سبيل المثال: فإن تعرض مادة فلورات الحديد(FeF_3) المستخدمة كقطب موجب في البطاريات القابلة للشحن ذات طاقة



● شكل (٨) رسم توضيحي يبين العلاقة بين الوقت والكمية لكل من الحديد والفلور.

٢٠٠ كيلو فولت في المجهر الإلكتروني النفاذ وذات قطر ١ نانومتر، سوف يؤدي إلى تحللها في وقت يصل إلى ٣٥ ثانية، وتبقى مادة الحديد لوحدها كما هو موضح في الشكل (٨).

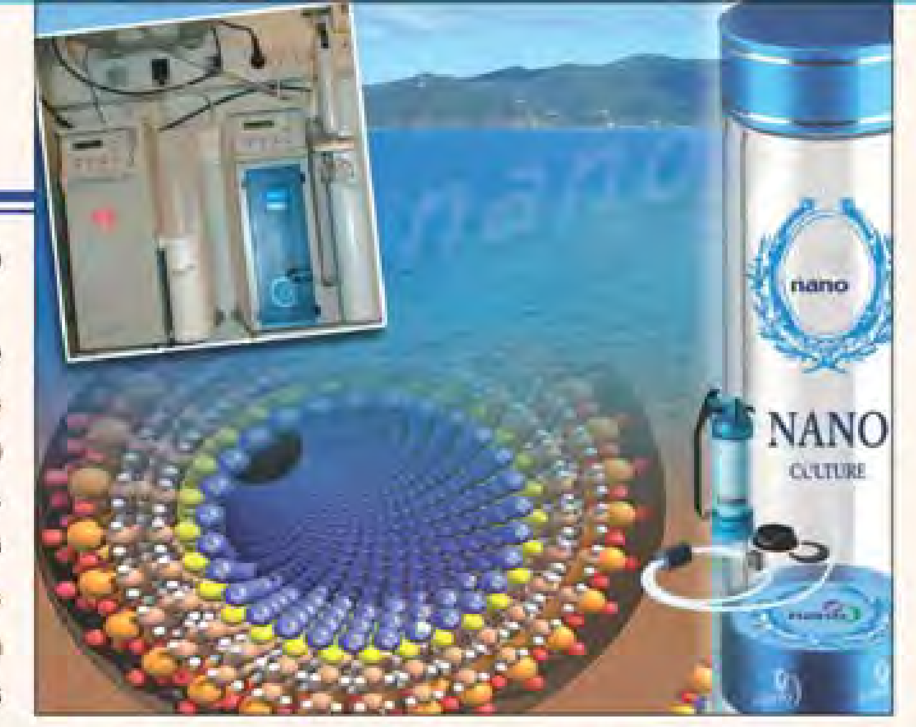
المصادر:

Transmission Electron Microscopy by David B. Williams and C. Barry Carter, plenium press, New York &London, 1996

SEM and AFM: complementary techniques for High Resolution Surface Investigations, by Phil Russell, Dale Batchelor and John T. Thornton, VEECO publications

Jafar F. Al-Sharab, James Bentley, Fredric Cosandey and Glenn Amatucci, Studying of the lithiation process in carbon iron fluorides nanocomposites using high resolution electron energy loss spectroscopy compositional imaging. Advanced Materials, (to be published)

Varun Gupta, Jafar F. Al-Sharab and Manish Chouwala, ?Microscopy study of Boron Carbide nanotubes?. Microscopy and Micro Analysis, (to be published)



تطبيقات تقنية النانو في المياه

د. أسامة بن جاسم الدريهم

لعل من أبرز التطبيقات الملموسة لتقنية النانو هي مساهمتها في إنتاج مياه صحية خالية من الملوثات والشوائب؛ بواسطة أنظمة معالجة متقدمة، تتضمن وسائل تنقية نانومترية.

ولاريب أن نجاح تصفية المياه بالطريقة البدائية المعتمدة على أقمشة ملابس الساري ـ المعروفة في بلدان الهند وما جاورها ـ هي الأصل في البحث عن منسوجات مشابهة حيكت وعولجت بتقنية النانو؛ لجعل عملية التصفية أكثر فاعلية وكفاءة. وفي المقابل استفادت أرياف جنوب أفريقيا من إنتاج تقنية النانو المتمثل بأغشية ترشيح ذات مسامات نانومترية في ترشيح مياهها من الملوثات والسموم الصناعية، والتي تضمنت كبريتات وكلوريدات وفوسفات ونترات.

ويمكن استعراض عدد من تطبيقات النانو في صناعة تحلية ومعالجة المياه من خلال مايلي: ـ

المعالجة الأولية والمتقدمة للمياه

تعالج المياه الملوثة في العادة بطريقتين:

● **الطريقة التقليدية**

تأتي طريقة المعالجة التقليدية على سبع مراحل تبدأ بمرحلة المعالجة الأولية التمهيدية لإزالة المواد الصلبة العالقة، تليها مرحلتي تخثير وتلبيد الشوائب المذابة ثم مرحلة ترسيبها، وتنتهي بمرحلة الترشيح. يعاب على هذه الطريقة عدم مقدرتها على إزالة الأملاح الذائبة وبعض المواد العضوية والصناعية القابلة للذوبان.

● **تقنية الغشاء المدفوع بالضغط**

تعد هذه التقنية طريقة مثالية لمعالجة المياه بجودة عالية وبحسب الرغبة. وتتميز هذه التقنية أن عمليات تشغيلها لا تتطلب مواد كيميائية إضافة إلى سهولة صيانتها، ولاتحتاج إلى قدر كبير من الطاقة، فضلاً عن ذلك فإن المرشح يعد العنصر الأهم حيث يعمل كحاجز يقوم بفصل نسبة عالية من المواد الذائبة عن الماء. ولعل أبرز ما يُميِّز كل عملية عن الأخرى هو مقاس مسامات المرشح، وآلية النقل، وضغط الماء المسلط، ونطاق التطبيقات.

تقسم طريقة الترشيح بالغشاء المدفوع بالضغط إلى أربع عمليات، هي كالتالي:

* **الترشيح الميكرومتري** (Micro Filteration - MF): ويتراوح مجال عمله من ٠,٠٥ إلى ١٠ ميكرومتر، ويستخدم في المعالجة الأولية للمياه.

* **الترشيح فوق الميكرومتري** (UltraFilteration - UF): ويتروح مجال ترشيحه مابين ١ إلى ١٠٠نانومتر، ويستخدم في المعالجة الأولية للمياه.

* **الترشيح بالتناضح العكسي** (Reverse Osmosis - RO): ويصل مجال ترشيحه إلى أقل من ٢ نانومتر، ويستخدم في المعالجة المتقدمة للمياه.

* **الترشيح النانوي** (Nano Filteration - NF): يصل مجاله إلى أقل من ٢ نانومتر، ويستخدم في المعالجة المتقدمة للمياه.

الجدير بالذكر أن المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة في المملكة العربية السعودية قد استفادت من أغشية الترشيح متناهية الصغر (النانو) ؛ في المعالجة الأولية لمياه التغذية لمحطات تحلية مياه البحر ـ سواء العاملة بالطرق الحرارية أو التناضح العكسي ـ لتكوين نظام مزدوج (النانو/التناضح) أو نظام ثلاثي (النانو/التناضح/التقطير)، وقد أثبتت نتائج التجارب انخفاض ملوحة مياه التغذية بنسبة تتراوح من ٣٠ إلى ٦٠٪ من مجموع الأملاح الكلية الذائبة، وأزيلت بذلك المواد العسرة مثل الكبريتات بنسبة تصل إلى ٩٨٪، كذلك تم إزالة المواد العالقة والبكتيريا، وبلغت نسبة استخلاص الماء العذب من ٥٠ إلى ٧٠٪ مقارنة بالطرق التقليدية(٣٥٪). وأدى التطبيق الفعلي لهذا الأسلوب بمحطة أملج للتناضح العكسي؛ إلى ارتفاع

إنتاجية المحطة بما نسبته ٢١٪ وبتكلفة لا تتجاوز ٤٪ من التكلفة الرأسمالية لإنشاء المحطة، ونجح استغلال وحدة أغشية النانو مع الطرق الحرارية في تهيئة ظروف التشغيل عند درجة حرارة قصوى للمحلول الملحي تصل إلى ١٢٠ْم دون تكوُّن أي قشور ملحية وبنسبة استخلاص تصل إلى ٧٠٪ مقارنة بالطريقة التقليدية (٣٥٪)، وأثبت دمج وحدة أغشية ترشيح النانو مع عمليات التقطير المتعدد التأثير، مقدرتها على خفض تكاليف إنتاج المياه؛ من خلال رفع درجة حرارة المحلول الملحي لكي تصل إلى ١٢٥ْم، وهي تفوق كثيراً درجات الحرارة المعمول بها حالياً، والتي لا تتعدى ٦٥ْم، مما ينعكس على تحسين الكفاءة الحرارية بشكل ملحوظ.

المعالجة بالمرشحات النانومترية

تُستعمل أغشية الترشيح النانومترية على نطاق واسع: لإزالة الأملاح الذائبة الموجودة في المياه المالحة، ولإبعاد الملوثات الميكرومترية مثل عنصري الزرنيخ والكادميوم، ولإزالة عسر الماء أيضاً. وتصنع مرشحات النانو بأشكال متعددة وبكثافة وأبعاد مسامية مختلفة من أجسام نانومترية، ومنها:

● أنابيب الكربون النانوية

بدأت هذه المرشحات أولاً في كلٍ من معهد **رينزلر التقني** في الولايات المتحدة الأمريكية، وجامعة **بان راس هندو** في الهند، حيث أثبتت كفاءتها العالية في إزالة ملوثات بأحجام الميكرون والنانو متر، مثل فيروسات شلل الأطفال وبكتيريا الإيكولا. وقد وجد أن مرشحات الأنابيب النانوكربونية أكثر مرونة في إعادة استخدامها من الأغشية التقليدية، وذلك لإمكانية تطهيرها إما بواسطة التسخين أو التعقيم. تقوم فكرة تصنيع مرشحات الأنابيب النانوكربونية ببساطة، على أساس غرس أنابيب نانوكربونية بتزاحم شديد وبوضع متماثل ومتجاور لتشكيل هيكل متين وقوي يشبه الغشاء، ويوضح الشكل(١) صورة بمجهر ماسح إلكتروني لمرشح أنابيب نانوكربونية على هيئة اسطوانة مجوفة، حيث يلاحظ التماثل الإشعاعي في صف الأنابيب النانوكربونية، والتي شكلت غابة كثيفة تحتوي على عدد كبير من أنابيب الكربون يقدر بالتريليونات، حيث تعمل هذه الأنابيب على أنها مصْفاة جزيئات، تسمح بمرور جزيئات الماء الصغيرة، وتحتجز جزيئات الملوثات الكبيرة.



● شكل (١) صورة بمجهر ماسح إلكتروني لمرشح أنابيب نانوكربونية على هيئة اسطوانة مجوفة.

كما يوضح الشكل(٢) رسم مبسط لطريقة التصنيع المستخدمة في بناء مرشح أنابيب نانوكربونية، والتي تتألف من خرطوم رش مرتبط بخزان مزود بمحلول البنزول والفيروسن، والذي يحقن بمساعدة غاز الأرجون فوق السطح الداخلي لاسطوانة من مادة الكوارتز المحاطة بفرن للتحكم بدرجة الحرارة. ويتحكم في تشكيل الأنابيب عاملان هما: مقاس فوهة خرطوم الرش، وسرعة انسيابية المحلول. وتتطلب خطوة الحصول على المنتج النهائي ضخ سائل حمضي بعناية فائقة على طول الجدار الداخلي لاسطوانة الكوارتز.

يأتي مصدر إتقان صناعة مرشحات الأنابيب النانوكربونية من البراعة أولاً في بناء اللبنة الأساسية للمرشحات أنابيب النانو، الذي يتولى بدوره تمهيد الطريق لمعرفة الكيفية والطرق والأساليب اللازمة لتشييد المرشحات الكاملة. وفي هذا الجانب، نجحت عدة مراكز بحثية في المملكة من تحقيق إنجازات علمية مشجعة، اشتملت على بناء وتركيب جهاز إنتاج أنابيب الكربون متناهية الصغر. وفي بعض المراكز تم بالفعل إنتاج أنابيب الكربون وفحص العينات المنتجة منها، مما يمثل الخطوة الأولى في مشوار التطوير الفعلي لتقنية النانو في المجالات ذات الأهمية الكبيرة للمملكة.

● ألياف أكسيد الألمنيوم

هذه الألياف عبارة عن مرشح جديد صُنع بواسطة شركة **زجوتيتر**، حيث تم استخدام ألياف بيضاء اللون من أكسيد الألمنيوم (الألومينا) بصورة مسحوق سهل النثر وبمقاس قطري يقدر بحوالي



● شكل (٢) رسم مبسط لطريقة تصنيع مرشح الأنابيب النانوكربونية.

٢ نانومتر وأطوال تتراوح مابين ١٠ إلى ١٠٠ نانومتر، رُشّت على طبقة تحتية مكونة من نسيج زجاج. ويضمن المرشح نتائج تنقية عالية الجودة، بالرغم من أن تجاويف المرشح العشوائية كبيرة؛ ويعود الفضل في ذلك إلى العنصر الفعال في هذه العملية، حيث تعمل ألياف الألومينا موجبة الشحنة، على جذب حبيبات الملوثات من الماء المتدفق خلالها، وليس احتجازها وحبسها فحسب.

يستمد مرشح ألياف الألومينا قوته من استفادته في آن واحد من طريقتي النخل والكهرباء الساكنة لإزالة الجراثيم من الماء، حيث تعمل فراغات النسيج الزجاجي على حجز الجراثيم ذات الأحجام الأكبر من واحد ميكرومتر، بينما تتولى ألياف الألومينا مسؤولية القبض على الجراثيم الأصغر من واحد ميكرومتر ومنعها من تجاوز غشاء المرشح. وتتم مهمة القبض هذه بواسطة قوى الكهرباء الساكنة والتي تبدو على شكل تجاذب مغناطيسي بين ألياف الألومينا الموجبة الشحنة والبكتيريا والفيروسات والملوثات سالبة الشحنة. وتظهر الشحن الموجبة في ألياف المرشح بكثافة؛ نتيجة اتساع سطح المرشح الذي تقع عليه مجموعات الهيدروكسيل الموزعة على كل ليفة من نسيج الألومينا. وفي المقابل تحمل البكتيريا والفيروسات وحبيبات المواد العضوية والصناعية بطبيعتها شحنة سالبة، وبهذه الطريقة يستطيع غشاء مرشح أكسيد الألمنيوم حجز حتى ٩٩,٩٩٩٪ من الفيروسات والبكتيريا والملوثات الأخرى.

يوضح الشكل (٣) صورة مكبرة لمرشح شركة **أرجونيد**، حيث تمثل الخطوط الداكنة ألياف أكسيد الألمنيوم المنثورة على نسيج من الألياف البصرية، ويتضمن خليط المرشح ألياف من اللدائن والسليلوز؛ لتقوية المرشح وزيادة مرونته. كما يوضح الشكل (٤) منتجات نهائية لغشاء ترشيح شركة أرجونيد يتضمن مرشح مُموَّج وملفوف بشكل اسطواني.



● شكل (٤) منتجات غشاء ترشيح شركة أرجونيد.

● مواد أخرى

هناك مواد أخرى استخدمت في الترشيح النانوي مثل الزوليت والطين الصلصال واللدائن متناهية صغر المسامات. وفي هذا الخصوص، طوّر مختبر **لوس الاموس** الوطني بكاليفورنيا صنف جديد من اللدائن متناهية صغر المسامات بغرض استعمالها في تخفيض تركيز الملوثات العضوية الموجودة في الماء.

إزالة السموم والملوثات

تقسم الحبيبات النانومترية الخاصة بإزالة السموم والملوثات بحسب وظيفتها إلى صنفين، هما:-



● شكل (٣) صورة مكبرة لمرشح أكسيد الألمنيوم من إنتاج شركة أرجونيد.

● حبيبات محفزة

تستخدم هذه الحبيبات لتفتيت وتحليل السموم والملوثات، وهي عبارة عن مركبات مساعدة ومسرِّعة للتفاعلات الكيميائية في عملية معالجة المياه، وقد استخدم الباحثون لهذا الغرض مادة ثاني أكسيد التيتانيوم وذرات الحديد النانومترية؛ لتجريد المياه من الملوثات الصناعية والتخلص من الأملاح والفلزات الثقيلة. وتعكف حالياً عدد من المراكز البحثية العالمية على اختبار نوع خاص من ذرات الحديد النانومترية لنزع عنصر الزرنيخ من المياه الجوفية.

تكمن الاستفادة من هذه المحفزات عن طريق خلط الحبيبات بتجانس مع الماء، أو بترسيبها على غشاء الترشيح، حيث يحدث في كلا الحالتين تدمير كيميائي للملوثات يُغني عن إزالة أو ترشيح الملوثات العالقة في الماء. ويمكن إشراك هذا الأسلوب من المعالجة مع التقنيات المتوفرة حالياً، والتي تكون المعالجة فيها مكلفة أو تكون غير قادرة على نزع الملوثات من المياه.

● الحبيبات الشافطة للعوالق الضارة

توجد هذه المرشحات على شكل حبيبات نانومترية مغناطيسية تستطيع مص المعادن والمركبات الصناعية الملوثة للمياه، حيث تتوفر خاصية الشفط والامتصاص لدى هذه الحبيبات،

بعد تغليفها بمركبات جاذبة لعناصر التلوث، مثل اللدائن. وتضمن حبيبات الامتصاص هذه فعالية امتصاص ١٠٠٪ تقريباً، وينسب الفضل في ذلك إلى صغر حجم الحبيبات وإلى شدة الجذب العالية فيها. ومن المزايا الجيدة أيضا لهذه الطريقة أنه بالإمكان إعادة استخدام الحبيبات، بواسطة استعادتها عن طريق مضخة مغناطيسية، وتجميعها وتعقيمها ومن ثمّ تغليفها مرة أخرى.

أجهزة قياس الجودة النوعية

تقاس جودة المياه تقليدياً، بواسطة أخذ عينات من المياه المراد فحصها، وإرسالها إلى مختبرات متخصصة لإجراء اختبارات تحليل للمحتوى الكيميائي والإحيائي، ووضع تقييم ونتائج لدرجة الجودة من قبل الاختصاصين، مما يتطلب أدوات وتجهيزات ومواد يصعب تحريكها ونقلها لتقدير العينات وتحليلها في موقعها، فضلاً عن بطء مراحل القياس والشك أحياناً في دقة نتائجه؛ وقد ظهرت حديثاً - بفضل تقنية النانو، حساسات صغيرة جداً ميكرومترية ونانومترية تستطيع أن تكتشف جودة الماء والتعرف على الكائنات والأجسام العالقة فيه، حتى إن كانت بحجم الخلية الحية أوبحجم الذرة، كما توفرهذه الحساسات خدمات الفحص والتحليل في الدراسات الحقلية، ولاشك أن هذه قدرات تحسس خارقة تفتقدها الأجهزة التقليدية.

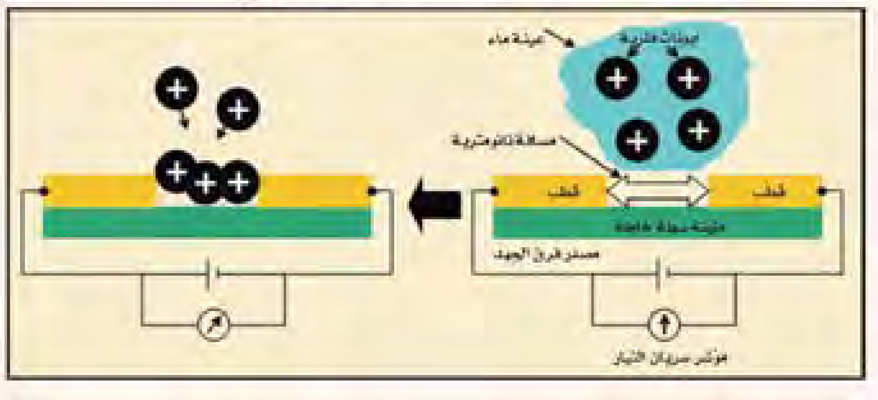
تندرج حساسات قياس جودة الماء تحت مظلة الحساسات الكهروكيميائية، والتي تعمل وفق مبدأ تحويل كمية من المادة الكيميائية أو الإحيائية عن طريق التغير في خاصية فيزيائية معينة إلى إشارة كهربائية يمكن من خلالها الوصول إلى معلومة مفيدة، وتصنف هذه الحساسات بحسب مبدأ الاستشعار الذي من خلاله يتم تحليل



وتقدير المادة المراد تحسسها. ويعتمد اختيار صنف معين من الحساسات على طبيعة آلية التفاعل الحاصلة في العنصر النشط، كما يمكن القول أن هذه الحساسات تعمل بشكل انتقائي بحيث تستجيب وتتفاعل مع المادة المراد تحليلها فقط بغض النظر عن وجود مواد أخرى في العينة.

يوضح الشكل(٥)، رسماً تخطيطياً للدائرة الكهربائية لحساس استشعار الفلزات الذي يمثل أحد أنواع حساسات جودة الماء، وتتكون الأجزاء النانومترية للحساس من طبقة سفلية خاملة، حيث وجود قطبين كهربائيين متباعدين بمسافة نانومترية وموصلين بمصدر لفرق الجهد. وقبل تشغيل الحساس تمنع الفجوة الفاصلة للقطبين حركة التيار الكهربائي، وعند تحميل الحساس بكمية من الماء المشبعة بأيونات فلزية، تترسب الأيونات في حيِّز الفجوة، ونتيجة لذلك يكتمل توصيل الدائرة ويجري التيار بشدة متفاوتة تحددها نسبة الأيونات الفلزية الموجودة في عينة الماء.

كما توجد أجهزة أخرى حديثه مثل جهاز حساس البايوفنجر لاستشعار وتحليل المواد الكيميائية والبكتيريا في الماء، وقد طُور هذه الحساس بشكل جهاز كفي يحتوي على عارضة نانومترية معلقة ومثبتة على شريحة إلكترونية بالإضافة إلى مكونات يستخدم لمرة واحدة فقط. كما طور باحثون من جامعة ولاية نيويورك في بفلو جهاز حساساً كفّياً يستطيع اكتشاف السموم والمواد الخطرة ويتألف من ثلاث قطع رئيسية، هي صمام ثنائي (Diode) مشع للضوء، ومصفوفة حساس من فُلام تصويري، وكشاف من أشباه الموصلات مصنوع من أكسيد فلزي. كما ابتكر علماء في جامعة أريزونا حساس للمواد الكيميائية يستعين في أداء مهامه على شوكة رنانة من مادة الكوارتز، ومربوط في طرفيها سلك بلاستيكي تتغير خواصه الميكانيكية عند تعرضه لمواد كيميائية، وعند إثارة اهتزازات الشوكة تتبدل ذبذبة الرنين بفعل تغيُّر مرونة السلك البلاستيكي.



● شكل (٥) رسم تخطيطي للدائرة الكهربائية لحساس استشعار فلزات.



مرشحات المياه

أ.د إبراهيم بن صالح المعتاز

الترشيح هو: عملية يتم فيها إزالة المواد العالقة في الماء، بطريقة فيها محاكاة للطبيعة، ذلك أن المياه أثناء جريانها تنساب إلى جوف الأرض مروراً بطبقات من الرمل والحصى والتي تزيل كثيراً من المواد العالقة قبل استقرارها في باطن الأرض، وبذلك تكون كمية المواد العالقة قليلة جداً أو معدومة في المياه الجوفية، مقارنة بكميتها في المياه السطحية من أنهار أو بحيرات وغيرها، وعليه: فإن أقدم عمليات الترشيح كانت تلك التي تستخدم المرشحات الرملية.

شهد عام ١٨٠٧م إنشاء محطة لمعالجة المياه في مدينة جلاسكو في اسكتلندا والتي تعد من أوائل المحطات في العالم، لمعالجة المياه بطريقة الترشيح بالمرشحات الرملية، كذلك كانت المعالجة باستخدام المرشحات الرملية المظهر السائد في محطات معالجة المياه حتى أوائل القرن العشرين، ولا تزال تستخدم حتى يومنا هذا في محطات تنقية المياه الجوفية في كثير من الدول.

تعد إزالة المواد العالقة من مياه الشرب أمراً ضرورياً للوقاية من أضرارها الصحية المباشرة و غير المباشرة، لأنها قد تسبب انسدادات في شبكات التوزيع وترسبات في خزانات المياه وتضفي على المياه رائحة ونكهة غير جيدة، كما أنها توفر وسطاً جيداً لحماية الأحياء الدقيقة – من بكتيريا وغيرها– تقيها من تأثير المواد المطهرة، مثل الكلور أو الأوزون. و قد تتفاعل المواد العالقة مع المواد المطهرة و تحد من فعاليتها في القضاء على الأحياء الدقيقة، كما يؤدي ترسب المواد العالقة في بعض أجزاء شبكات التوزيع وخزانات المياه إلى نمو البكتيريا وتغير رائحة المياه وطعمها ولونها.

أنظمة الترشيح التقليدية

تعالج المياه بتمريرها خلال وسائط حبيبية، مثل الرمل، فتزيل المواد العالقة بها، وتتفاوت فعاليتها بدرجة كبيرة، وغالباً ما تستخدم هذه الأنظمة لتحسين عكارة ولون الماء، كما يمكن لهذه المرشحات أن تزيل -بفعالية – الكائنات الدقيقة التي تسبب الأمراض، و يمكن تحسين فعالية عملية الترشيح التقليدي؛ وذلك باستخدام مواد التخثر الكيميائي، مثل: أملاح الحديد، أو أملاح الألومنيوم التي تضاف إلى المياه قبل عملية الترشيح لتعمل على تراكم وتجمع جزيئات المواد العالقة لتكوّن كتل متجمعة يسهل إزالتها.



● شكل (١) مثال للترشيح بالرمل

تعد المرشحات الرملية من أشهر المرشحات التقليدية، وفيها يكون وسط الترشيح مكون من طبقات رملية ذات أحجام متفاوتة، الشكل (١)، و عند مرور المياه خلال وسط الترشيح تلتصق المواد العالقة بجدران حبيبات الوسط الرملي، ومع استمرار عملية الترشيح تنخفض كفاءة الوسط الرملي نظراً لالتصاق المواد العالقة فيه، وانسداد الفتحات التي يمر من خلالها في الوسط الرملي. وعند ذلك يجب إيقاف عملية الترشيح وغسل المرشح لتنظيف الوسط الرملي مما علق فيه من مواد. وتتم عملية غسله بضخ مياه نظيفة من أسفل المرشح – عكس إتجاه سريان المياه أثناء الترشيح – لتحريك المواد المترسبة ودفعها مع المياه إلى أعلى المرشح، وينتج عن تمدد الوسط الرملي وتحرك حبيباته واصطدام بعضها ببعض إزالة ما التصق من عوالق على الوسط الرملي، وتستغرق عملية غسيل الوسط الرملي وتنظيف حبيباته نحو ١٠ دقائق تقريباً.

المرشحات الخزفية

استخدمت المرشحات الخزفية (مرشحات السيراميك) في معالجة المياه منذ فترة طويلة، وتنحصر معظم تطبيقاتها عند مرحلة استخدام المياه وليس في مراحل تنقيتها ومعالجتها، وقد أثبتت تجارب استخدام المرشحات الخزفية قدرتها على إزالة أو تعطيل فعالية البكتيريا والأوليات والطفيليات.

تحتوي المرشحات الخزفية على حبيبات السليكون الصغيرة جداً، وبعضها تحتوي على دقائق الفضة في صدفات الخزف الخارجية المسامية، وهذه تقوم بمحاصرة

الكثير من أنواع البكتيريا التي قد يصل حجمها نحو ٠,٢٢ ميكرون، بينما تمنع دقائق الفضة عودة نمو البكتيريا خارج مسامات الخزف ببعث كميات من أيوناتها الموجبة الشحنة، والتي تتداخل من النظام الإنزيمي لخلية البكتيريا وتحييدها.

تعد المرشحات ذات الوسط الترشيحي الفعال- الذي يتراوح قطره بين ٠,١ إلى ٠,٤٥ ميكرون - مرشحات معقمة بكتيرياً. أما المرشحات ذات الوسط الترشيحي الفعال الذي يتراوح قطره بين ٠,٤٥ إلى ١,٠ ميكرون فهي مرشحات آمنة بكتيرياً.

يعد تنظيف المرشح الخزفي وصيانته مسألة جوهرية، ويمكن أن ينظف بجعل المياه النقية تتدفق إليه باتجاه معاكس لعملية الترشيح. وتمتاز المرشحات الخزفية بأنها سهلة الاستخدام وتعمر طويلا إذا لم تكسر، كما أنها منخفضة التكلفة إلى حد ما، ولكن يعاب عليها احتمال تلوث المياه المخزنة مرة أخرى حيث لا توجد بها بقايا الكلور، إضافة إلى انخفاض معدل تدفق المياه المرشحة نسبيا، حيث لا يزيد عادة عن لتر أو لترين في الساعة.



■ (٢) حجز وامتصاص المواد على سطح الكربون المنشط.

مرشحات الكربون المنشط

الكربون المنشط (النشط) هو عبارة عن كربون موجب الشحنة، له قدرة امتصاصية عالية لكثير من الشوائب، وتبلغ المساحة السطحية للجرام الواحد من الكربون المنشط نحو ٥٠٠ م٢ من المساحة، وهي تقارب ضعف مساحة ملعب التنس الأرضي الذي تبلغ مساحته عادة نحو ٢٦٠م٢، وبذلك فإنه يكون قادراً على التخلص من المذاق والرائحة غير المرغوب فيها، فضلاً عن أنه يزيل الكلور وكثير من الملوثات الخطرة والمعادن الثقيلة، مثل: النحاس، والرصاص، والزئبق، وبقايا عمليات تطهير (تعقيم) المياه، والمبيدات والرادون والمواد الكيميائية المتطايرة وغيرها.

يعمل الكربون المنشط على امتصاص الشوائب أثناء مرور الماء عليه، عن طريق حجزها في التجاويف الموجودة فيه أو بامتصاصها على سطحه كما هو موضح في الشكل (٢)، وتحتوي مرشحات الكربون النشط على حبيبات أو مسحوق الكربون النشط حيث يبلغ قطر دقائق حبيباته حوالي ٥ ملم، أما مسحوق الكربون النشط فيتراوح قطره عادة بين ٠,١٤ ملم و ٠,٢٥ ملم.

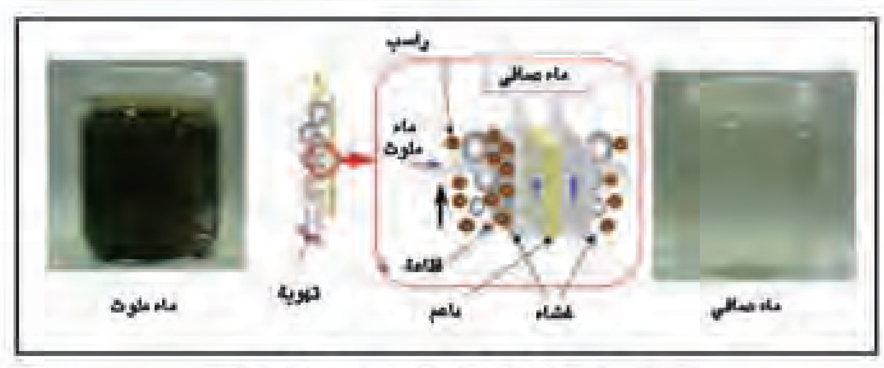
يلزم تغيير حبيبات الكربون النشط واستبدالها بعد فترة من الاستخدام، خاصة عند انخفاض مقدرتها على امتصاص الشوائب من الماء، ويمكن تنشيطها بغسلها بالماء النقي.

مرشحات التبادل الأيوني

تعمل هذه المرشحات خلال: سلسلة من التفاعلات الكيميائية؛ التي تؤدي إلى التبادل الأيوني لأيونات الأملاح المراد فصلها وامتصاصها في الوسط الترشيحي، ومن ثم التخلص منها، وبذلك تقوم بخفض تركيز المعادن المذابة التي لها شحنات موجبة عالية، مثل: الكالسيوم والمغنسيوم، كما تزيل بقايا أيونات الحديد التي قد ينجم عنها أضرار صحية.

المرشحات الغشائية

تعد عمليات الترشيح باستخدام تقنيات الأغشية من العمليات الحديثة التي لاقت رواجاً كبيراً في السنوات الأخيرة؛ وذلك لصغر حجم المرشحات الغشائية، وانخفاض تكاليفها، وسهولة استخدامها واستبدالها. ويعد علم الأغشية من العلوم الدقيقة التي تشمل التقنيات متناهية



• شكل (٣) فعالية المرشحات الغشائية في تنقية المياه .

الصغر والتي تستعمل في عمليات الترشيح المختلفة وتمتاز بانخفاض استهلاكها للطاقة، ويبين الشكل (٣) ، فعالية أغشية الترشيح في الحصول على مياه صافية من مياه ملوثة.

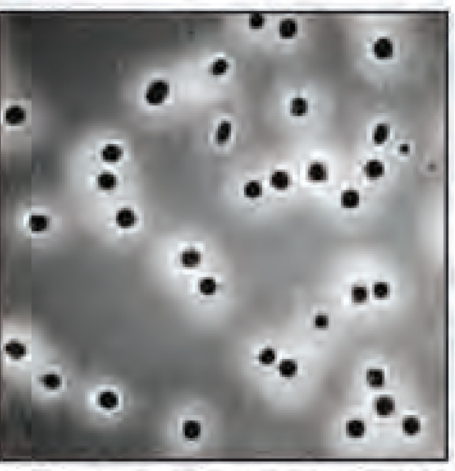
تختلف المرشحات الغشائية باختلاف عمليات الفصل (Process & Seporrton) وذلك وفقاً لما يلي:

١- مرشحات الجسيمات (Particle Filters): وتقوم بفصل المواد التي يزيد قطرها عن ألف ميكرون (١٠-٣ملم).

٢- المرشحات كبيرة الحجم (Macro Filters): ويتراوح مدى فتحات مساماتها مابين ١٠ إلى ١٠٠٠ ميكرومتر ، ويمكن رؤية الجسيمات المنفصلة عن المرشح وهي بحجم فقاعات الهواء الصغيرة أو ذرات الغبار.

٣- المرشحات الدقيقة (Microfilters) : ويمكن بواسطتها فصل المواد العالقة خلال فتحات مسام أغشية الترشيح والتي يتراوح قطرها ما بين ٠,١ إلى ١٠ ميكرون، وتكون موزعة بشكل عشوائي على سطح الغشاء (المرشح)، كما هو موضح بالشكل (٤) ، ولا يمكن رؤية هذه المواد المرشحة بالعين المجردة، إذ إن لها حجماً يماثل حجم كرية الدم الحمراء أو ذرات الفحم الدقيقة أو بعض أنواع البكتيريا . تستخدم هذه المرشحات في عملية تعقيم وتنقية عصائر الفواكه وفي مرشحات المياه عندما لا يحتاج إلى تعديل (تحسين) طعم أو نكهة المياه.

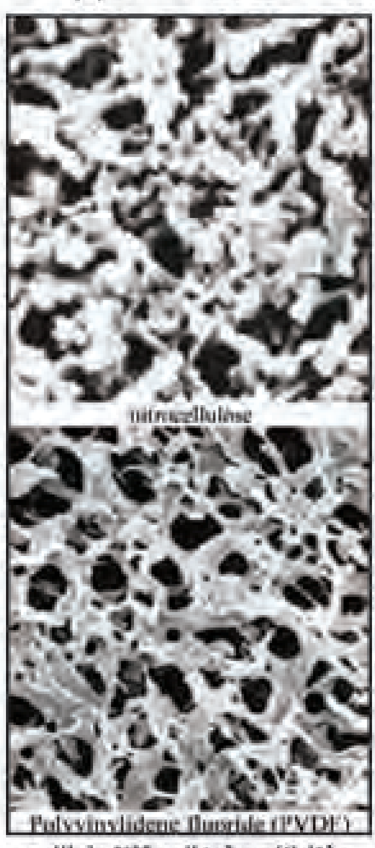
٤- المرشحات فائقة الصغر (Ultrafilters): يمكن بواسطتها فصل المواد التي يتراوح قطرها بين ٠,٠٠١ إلى ٠,١ ميكرون ، وبذلك فإنها تستخدم في فصل المواد الغروية (Colloidal) أي الغرويات العالقة أو الذائبة في الماء ، كما يمكنها فصل بعض الجزيئات الذائبة في الماء ذات الأوزان الجزيئية التي يتراوح قطرها ١,٠٠٠ إلى ١٠٠,٠٠٠ أي ما يعادل حوالي ١٥ إلى ٢٠٠ أنجستروم، وتكون الأغشية منفذة فقط للماء (شبه منفذة أو نصف منفذة)



• شكل (٤) صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) لسطح غشاء مرشح دقيق

(Semipermeable)، وتلعب الشحنة الموجودة على المواد المراد فصلها دوراً كبيراً في عملية الفصل أكثر من فتحة مسام الغشاء، كما أنها تستخدم في عمليات المعالجة الأولية في عمليات تحلية المياه؛ لإزالة العوالق الدقيقة أو الجزيئات الذائبة كبيرة الحجم. ومن الجدير بالذكر أن هذه الأغشية لاتستطيع فصل الأملاح الذائبة في الصناعات الغذائية بشكل واسع، مثل: فصل البروتين من الحليب، أو السكر، أو الأيسكريم (البوظة) (Ice Cream) بكفاءة عالية .

٥- المرشحات النانوية (Nano filters) : وتتمتع بقدرة عالية على فصل المواد الدقيقة جداً ، إن مدى فتحات مسامها يكون فيما بين ٠,٠٠٠١ إلى ٠,٠٠١ ميكرون، أي قدرتها تتمثل في فصل الجسيمات ذات الأوزان الجزيئية التي تتراوح فيما بين ٢٥٠ إلى ٤٠٠ ، ويبين الشكل (٥) ، أمثلة



• شكل (٥) صورة من المجهر الإلكتروني الماسح الأسطح بعض المرشحات النانوية .

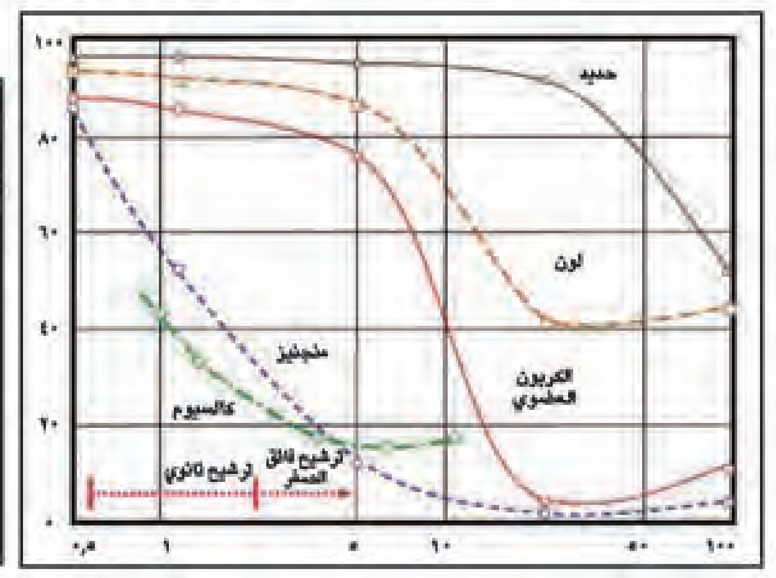
المادة	المرشحات فائقة الصغر (UF)	المرشحات النانوية (NF)	التناضح العكسي (RO)
كلوريد الصوديوم	-	٥٠ - ٤٠	٩٩
كبريتات الصوديوم	-	٩٩	٩٩
كبريتات الكالسيوم	-	٥٠ - ٤٠	٩٩
كبريتات الماغنسيوم	-	٩٠	٩٩٫٩
حمض الكبريت	-	٥	٩٨
حمض الكلور	-	٥	٩٠
فركتوز	-	٩٠ - ٢٠	٩٩٫٩
سكروز	-	٩٩	٩٩٫٩
فيروس	٩٩	٩٩٫٩٩	٩٩٫٩٩
بروتين	٩٩	٩٩٫٩٩	٩٩٫٩٩
بكتيريا	٩٩		

• جدول (١) مقارنة فصل المواد (٪) بين الغشائية لنسبة المرشحات.

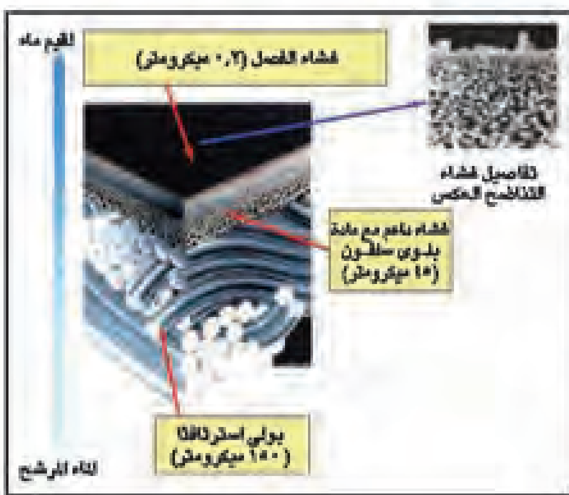


• مرشح غشائي منزلي.

لأغشية مرشحات النانو. وتعد مرشحات النانو من المرشحات المهمة التي تلاقي استخدامات و تطبيقات متزايدة، حيث تستخدم في: تركيز الأصباغ، وإزالة عسر المياه وإزالة اللون و الطعم و البكتيريا من المياه وتصل مقدرتها إلى فصل الجزئيات الذائبة في الماء ذات التكافؤ الثنائي أو أكبر كما هو موضح في الجدول (١)، والشكل (٦)، غير أن قدرتها محدودة في فصل الأملاح الذائبة أحادية التكافؤ مثل ملح كلوريد الصوديوم (NaCl) والذي يسبب ملوحة المياه بشكل رئيسي، أو المواد العضوية صغيرة الوزن الجزيئي مثل الميثانول، ولذلك ظلت مرشحات النانو ضمن مجموعة مرشحات المياه، ولم تصل إلى مستوى أغشية التحلية التي تسهم بفعالية في فصل كافة الأملاح الذائبة في الماء، مثل أغشية التناضح العكسي (Reverse Osmosis Membrane)، الشكل (٧)، التي لها قدرة على فصل الأيونات ذات الأقطار ٠٫٠٠١ ميكرون وأقل، أي ما يعادل أقل من ١٢٥ وزن جزيئي، حيث تستخدم بشكل أساسي في تحلية المياه و إنتاج مياه قليلة الأملاح، وغالباً ما يسبق استخدام أغشية التناضح العكسي في تحلية المياه وجود المرشحات متناهية الصغر؛ لتعمل على فصل الجسيمات الدقيقة والفيروسات الذائبة وذلك لحماية أغشية التناضح العكسي ورفع كفاءة إنتاجيتها وإطالة عمرها التشغيلي.



• شكل (٦) فعالية ترشيح بعض المواد بالترشيح الغشائي.



• شكل (٧) تفاصيل غشاء التناضح العكسي.



المحفِّزات عبارة عن مواد تزيد من سرعة التفاعل الكيميائي؛ عن طريق خفض طاقة التنشيط اللازمة للوصول إلى الحالة النشطة دون أن تدخل أو تتغير في التفاعل، وبالإضافة إلى ذلك فإن المحفِّزات يمكن أن تلعب دوراً في تغيير درجات الحرارة، والضغوط التي تتم عندها معظم التفاعلات الكيميائية المختلفة، مما يجعلها ذات فائدة اقتصادية كبيرة.

استخدمت المواد المحفِّزة على الأقل منذ بدء عصر الصناعة، أي منذ منتصف القرن الثامن عشر، عندما بدأ استخدام البلاتين في تحضير كل من حمض الكبريت وحمض النيتروجين، والنيكل في هدرجة الإيثيلين، والنيكل والكوبالت لتصنيع الميثان من أول أكسيد الكربون والهيدروجين، وأكسيد الفناديوم لأكسدة النفثالين.

تتالت بعد ذلك الصناعات الكيميائية التي تقوم على استخدام أنواع لا تعد ولاتحصى من المواد المحفِّزة، ومازالت تتطور إلى يومنا هذا بعد اكتشاف البترول. وقد دخل العديد من المواد المحفِّزة في عمليات تكرير البترول، مثل: عمليات التكسير الحفزي، والألكلة، والتماكب، وإعادة التكشيل، ونزع الكبريت بالهدرجة، ونزع النيتروجين والفلزات الثقيلة وغيرها من العمليات الأخرى، كما توسع استخدامها بشكل مضطرد في السنوات الأخيرة في مجالات الصناعات البتروكيميائية والمواد الصيدلانية وغيرها.

تتضمن التفاعلات الحفزية الخطوات التالية:-

- امتزاز المواد المتفاعلة على سطح المادة المحفِّزة.
- انتشار المواد المتفاعلة على السطح.
- التفاعل على السطح.
- انتشار المواد الناتجة عن التفاعل على السطح.
- مج المواد الناتجة عن التفاعل من السطح.

وتتطلب عملية التحفيز توازناً بين الامتزاز والتفاعل والمج من على سطح المادة المحفِّزة، وبناءً عليه؛ فإذا كان الامتزاز قوياً أو ضعيفاً لا يحصل التفاعل.

وتعد المساحة السطحية من أهم خصائص المادة المحفِّزة، حيث تلعب دوراً مهماً في تحفيز التفاعلات الكيميائية، فكلما صغر حجم جسيمات المادة المحفِّزة؛ ازدادت مساحتها السطحية. وبناءً على ذلك؛ فإنه من الواضح أن تطوير أو اصطناع محفِّزات بمقياس النانو ضروري جداً لتحقيق فعالية عالية لعملية التحفيز، ويسمى هذا النوع من المحفِّزات بالمحفِّزات النانوية (Nanocatalysts) والتي هي عبارة عن مواد تتصف بمساحة سطحية عالية جداً قد تتجاوز ١٦٠٠ متر مربع/جرام، وأقطار مسامات في مجال ٢-٥٠ نانو متر بترتيب فراغي منتظم.

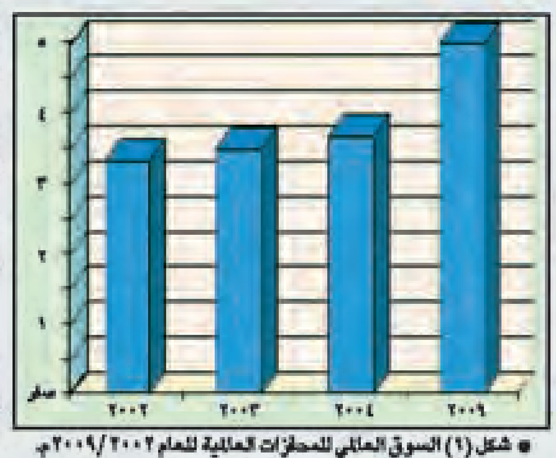
إن خفض حجم جسيمات المادة المحفِّزة إلى النانو مترات يزيد بشكل كبير المساحة السطحية لكل جرام من المحفِّز، مما يعزز مستوى الفعالية الحفزية، وبالتالي ينخفض الزمن الذي تستغرقه العملية، وتقل الأدوات والمعدات المستخدمة كما تقل المادة المحفِّزة، مما يخفض من سعر تكلفة تحضير المنتج.

ومن أهم العوامل التي تحدد سلوكية المادة المحفِّزة النانوية هي:-

- تعديل البنية الإلكترونية.
- تداخل سطوح بنوية مختلفة.
- توزع الفلز أو أكسيد الفلز على سطح الداعم والتداخلات فيما بينها.
- الاختلاف في خصائص انتقال الطور السائل.
- نوع وحجم الداعم الفعال والداعم غير الفعال.
- حجم جسيمات الفلز أو أكسيد الفلز على الداعم.

ونظراً للتقدم الهائل الذي حدث في تقنية وعلوم النانو؛ فإن صناعة المواد ذات البنية النانوية هي في حالة تطور مستمر وبحث مكثف، وقد لعبت هذه التقنيات دوراً مهماً في دعم وتطور القطاعات الصناعية، بما فيها مجال الصحة والصناعات الغذائية والدوائية والنقل والطاقة والمجالات البيئية، ومصادر الطاقة المتجددة، وخفض استهلاك المواد، بالإضافة إلى إيجاد بدائل من المواد محدودة التوفر.

ومن أهم القطاعات التي دخلت إليها تقنية النانو في مجال المحفِّزات هي التكرير والبتروكيميائيات؛ حيث بلغ السوق العالمي للمحفِّزات النانوية حوالي (٣،٧) بليون دولار في عام ٢٠٠٤م، ومن المتوقع أن يصل إلى حوالي (٥) بليون دولار في عام



● شكل (١) السوق العالمي للمحفزات العالمية للعام ٢٠٠٢/٢٠٠٩م.

٢٠٠٩م، أي بمعدل زيادة سنوية تصل إلى (٦,٣٪)، يقابلها زيادة في سوق تقنية النانو تصل إلى (٣٠,٤٪)، ويبين الشكل (١) السوق العالمي للمحفزات النانوية.

وقد دخلت المحفزات النانوية في مجال التطبيق الصناعي، مثل: صناعة الإنزيمات والزيوليتات والفلزات الانتقالية، كما يوجد أنواع جديدة من المحفزات النانوية، مثل: أكاسيد الفلزات الانتقالية، والميتالوسين، وأنابيب الكربون النانوية، وبعض أنواع الدواعم مثل: السليكا، وأكسيد التيتانيوم وغيرها.

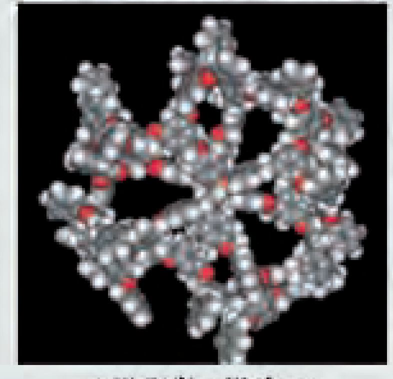
ويعد قطاع التكرير والبتروكيميائيات أكبر القطاعات استخداماً للمحفزات النانوية، ففي عام ٢٠٠٣م بلغ السوق العالمي لها أكثر من (٣٨٪)، تليها القطاعات الكيميائية والمواد الصيدلانية (١٩,٦٪)، وصناعة المواد الغذائية (١٩٪)، والمجالات البيئية (١٣,٤٪). وهناك بعض قطاعات الاستخدام النهائي للمنتجات تستهلك محفزات نانوية أخذت تنمو بشكل أسرع، وبشكل خاص يتوقع أن يصل نمو البوليمرات السنوي إلى (٢٢,٩٪) ما بين ٢٠٠٤–٢٠٠٩م، والطاقة (٣٤,٥٪)، والتقنية النانوية (٩٠,٤٪) وتطبيقات أخرى متنوعة مثل مجالات الدهانات (٣٥,٧٪)، ومن المتوقع أن تزداد مساهمة المحفزات النانوية في جميع هذه الشرائح بشكل ملحوظ بحلول عام ٢٠٠٩م.

تستخدم أنواع متعددة من المواد المحفزة والدواعم النانوية في قطاعي التكرير والبتروكيميائيات، ومن أهمها ما يلي:-

محفزات ثنائية الفلز

تعد عملية إعادة التشكيل الحفزي في مصافي تكرير البترول من أكثر العمليات استخداماً للمحفزات ثنائية الفلز حيث تستخدم لرفع عدد أوكتان النفثا، ومزيج المركبات الهيدروكربونية عن طريق تفاعلات نزع الهيدروجين، والتماكب والتحلق بنزع الهيدروجين والتكسير؛ وذلك لجعلها مواد ملائمة لرفع أوكتان الجازولين وصناعة مواد بتروكيميائية أخرى. ويتراوح حجم النفثا المعالجة عالمياً حوالي ١٣ مليون برميل يومياً. يستخدم قرابة ٣٠–٣٥٪ منها لرفع رقم أوكتان الجازولين.

تعتمد جميع المواد المحفزة المستخدمة حالياً على البلاتين، وتصنع مثل هذه الأنواع من المحفزات على شكل تركيبات ثنائية من فلز البلاتين (Pt)، إما مع القصدير (Sn) أو مع الرينيوم (Re).



● محفز نانوي لفلز البلاتين.



تعتمد نوعية منتج النفثا النهائي على بيئة المادة المحفِّزة؛ لأنه أثناء عملية إعادة التشكيل تحدث تفاعلات كيميائية مختلفة في مراكز مميزة فعالة حفزياً. وقد تم تطوير مثل هذه الأنواع من المحفِّزات بمقياس النانو لعمليات إعادة التشكيل حيث تتميز بإعطاء مردود عالٍ من المنتجات المرغوب بها برقم أو كتان أفضل مقارنة مع المحفِّزات التقليدية، وطول عمر المحفِّز، والحد من التفاعلات غير المرغوب بها، مثل: التحلل بوجود الهيدروجين والتفحيم (Coking).

محفِّزات فلزات وأكاسيد فلزات مدعمة

يعد البلاتين المحمل على زيوليتات بمقياس النانو: من أهم أنواع المحفِّزات، حيث تستخدم في هدرجة المركبات العطرية في وقود الكيروسين والديزل، والتكسير الهيدروجيني لثلاثي آيزوبروبيل البنزين، والكلة النفثالين، وهدرجة الفينانثرين والنفثالين كما وجدت أنواع أخرى من هذه المحفِّزات تستخدم في عمليات المعالجة بالهيدروجين للمشتقات البترولية والتي تتضمن عمليات نزع الكبريت ونزع النيتروجين بوجود الهيدروجين للُقائم الثقيلة، وهدرجة المركبات العطرية في المقطرات. ومن أهم هذه المحفِّزات (Ni-Mo) و (Co-Mo)

المحملة على زيوليتات بمقياس النانو، ومازالت مثل هذه المحفّزات في طور البحث والتطوير.

أكسيد السيريوم المحمل على أكسيد الخارصين

يعد الإيثيلين من أهم المواد الأساسية في الصناعة الكيميائية الحديثة، وهو يصنّع من عمليات التكسير الحراري لبعض المشتقات البترولية في الوقت الحالي. كما أن الأكسدة الازدواجية للميثان مع ثاني أكسيد الكربون كمؤكسد تعطي طريقة بديلة واعدة للحصول على الإيثلين في حال نفاذ البترول، وذلك باستخدام مصادر الغاز الطبيعي المتوفرة وثاني أكسيد الكربون الناتجة عن البيوت المحمية. ولتحقيق هذا الهدف فقد تم تطوير مواد محفّزة جديدة من أكسيد السيريوم المحمّل على أكسيد الخارصين (CeO_2/ZnO) على شكل جسيمات بمقياس النانو لها فعالية عالية، وقد تم تحضير الجسيمات على شكل كريات يصل قطرها إلى ١٠ نانومتر وبمساحة سطحية عالية.

الروثينيوم المحمّل على الألومنيا

يعرف فلز الروثينيوم بفعاليته الحفزية العالية في صناعة النشادر (الأمونيا)، ويحضر هذا المحفّز على شكل جسيمات بمقياس النانو باختزال كلوريد الروثينيوم في جليكول الإيثيلين. وقد تم تحميل جسيمات من الروثينيوم يصل قياسها إلى ٥ نانو متر على داعم من الألومينا. وقد أظهر هذا المحفّز كفاءة عالية في صناعة النشادر، بالإضافة إلى العمليات الحفزية لإزالة غاز ثاني أكسيد الكبريت السام من وحدات توليد الطاقة، ومحركات الاحتراق والمراجل. كما تم تطوير أنواعاً أخرى من مثل هذه المحفّزات بمقياس النانو لتفاعلات هدرجة النتريلات في الطور السائل التي تدخل في صناعة الألياف الصناعية.

الأنتيمون المحمّلة على أكسيد القصدير

تم تحضير مثل هذه المحفّزات بمقياس يصل إلى قرابة ١٠ نانو متر لاستخدامها في أكسدة البروبلين إلى الأكرولين، وكذلك نزع الهيدروجين من البيوتانات (أجزاء C4) إلى ٣،١- بيوتادايثين والأكسدة الانتقائية للأوليفين.

محفّزات أكسيد التيتانيوم

تحضر مثل هذه الأنواع من المحفّزات على شكل جسيمات بمقياس يتراوح ما بين ٢٥-٨٥ نانو متر، ولهذه المحفّزات تطبيقات عديدة في تفاعلات التحفيز الضوئي التي هي من أهم التفاعلات لمعالجة الملوثات والنفايات، بالإضافة إلى استخدامها في الطاقة الشمسية. كما وجد أن لأكسيد التيتانيوم فعالية حفزية ضوئية عالية في تفكيك حمض النمل وأكسدة النفثالين. بالإضافة إلى استخدامه كمادة محفّزة، فإنه يستخدم أيضاً كمادة داعمة للفلزات وأكاسيد الفلزات التي لها تطبيقات متنوعة في العمليات البتروكيميائية. فعلى سبيل المثال: يستخدم محفّز البورون المحمّل على أكسيد التيتانيوم بمقياس النانو في إنتاج الهيدروجين من الماء وأكسدة المركبات الهيدروكربونية.

بنيات نانوية من السليكون

هذا النوع من المحفّزات عبارة عن: جسيمات من السليكون، أو أكسيد السليكون بمقياس النانو، تكون أحياناً على شكل كريات تتراوح أقطارها ما بين ٤٠-٤٥ نانومتر، وبمساحة سطحية تتراوح ما بين ٢٠٠-٣٠٠م٢/جرام.

يستخدم أكسيد السليكون كمادة داعمة - لوحده، أو ممزوجاً مع الألومينا - للفلزات وأكاسيد الفلزات، وذلك في عمليات تكسير البترول إلى جازولين. وتحضر مثل هذه الأنواع من المحفّزات بمقياس النانو من التحلل المائي اللهبي (Flame Hydrolysis) لمحاليل هاليدات الفلزات السائلة. وقد تم تحضير كريات وأسلاك نانوية بشكل منتظم بتسخين الفلزات وأكاسيدها السليكون في مفاعل تصل درجة حرارته ١٣٠٠ م° في جو من غاز الأرجون. ومن أهم مميزات هذه الطريقة أنه لا يستخدم فيها مذيب أو سائل ولاينتج عنها غازات. وتبلغ أقطار الكريات النانوية الناتجة من هذه الطريقة ما بين ٣٥-٥٠ نانومتر.

علاوة على ذلك تستخدم هذه التقنية لتحفيز أكسيد النحاس (CuO) وأكسيد القصدير المحمّلة على السليكا.

وقد أظهرت نتائج تحليل هذه المحفّزات المدعمة تبعثر (تشتت) منتظم لأكاسيد الفلزات الفعالة على الداعم على شكل جسيمات يبلغ مقاسها ٢ نانومتر على ٤٠ نانو متر من جسيمات السليكا. ويمكن تحضير أنابيب وألياف نانوية منتظمة باستخدام التقنية نفسها، وذلك بتغيير درجة حرارة المفاعل، ومعدل تدفق الغاز الخامل. ويبلغ طول الأنابيب بضع ميكرونات بينما تتراوح أقطارها ما بين ٧٠-٨٠ نانومتر.

تستخدم هذه المحفّزات في عملية هدركسلة الفينول (Phenol hydroxylation).

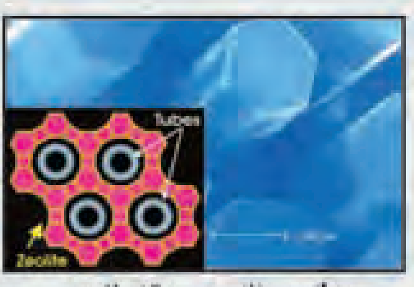
كما ويمكن تحضير بنيات نانوية السليكون التي تعرف بالزيوليتات أو المناخل الجزيئية بطريقة حرارية مائية (Hydrothermal)، ومن أهم هذه البنيات في الوقت الحالي ما يلي:

• حبال نانوية

الحبال النانوية (Nanoropes) عبارة عن: جسيمات بمقاس النانو على شكل حبال



• حبال نانوية.



• أنبوب نانوي من الزيولايت.

يمكن تحضيرها بطرق تحضير الزيوليتات نفسها ولكن بعد إطالة زمن التفاعل. وتمتاز هذه الأنواع من المحفِّزات بمساحة سطحية منخفضة وأحجام مسامات كبيرة.

• أنابيب نانوية

الأنابيب النانوية (Nanotube) عبارة عن جسيمات بمقاس النانو على شكل أنابيب يمكن تحضيرها بطرق تحضير الزيوليتات نفسها، إلاّ أن الأخيرة هذه تخضع لمعالجة حرارية مائية بوجود محلول مائي من النشادر؛ وذلك لتحسين ثباتية البنيات النانوية. ومن أهم العوامل المستخدمة في هذه الطريقة: درجة الحرارة، وتركيز النشادر، وزمن التفاعل، ومن ثم معالجة المنتج بالماء الساخن لفترة زمنية معينة.

• فرش طلاء

إن حزم أنابيب نانونية للسليكا تكوّن أنابيب نانونية تعرف بفرشاة الطلاء (Paintbrush)، وتحضر مثل هذه الأنواع بطريقة تحضير الزيوليتات نفسها إلا أن المنتج يحضر بطريقة المحلول الهلامي (Sol-gel). ويصل قطر الأنبوب النانوي في الفرشاة إلى قرابة ٥نانو متر بطول مايقرب من ٢٠٠نانو متر. وتتكون هذه البنيات في ظروف قاعدية خفيفة عند درجات حرارة تصل إلى ٨٠مْ، ولايمكن تكوينها عند درجات حرارة أعلى من ٩٠مْ.


• استخدام النانو في الطلاء.

وقـــود حيــوي واعـــد

أشارت دراسة حديثة إلى امكانية تصنيع وقود حيوي يسمى ثنائي ميثيل الفيوران (DMF)، مستخلص من قصب السكر الذرة الشامية يفوق الإيثانول المستخلص منهما في الطاقة الناتجة عنه، ويمتاز بأنه ينتج طاقة تعادل الطاقة الناتجة عن الجازولين.

يعد الإيثانول من البدائل المقترحة كوقود صديق للبيئة لإنتاج الطاقة، لأن استخدامه بدلاً من الوقود الأحفوري يقلل من انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون المسبب الرئيس لظاهرة الانحباس الحراري في الكرة الأرضية.

تعد البرازيل ـ حالياً ـ الدولة الأولى في إنتاج واستهلاك الإيثانول الذي يتم استخلاصه من قصب السكر، بجانب ذلك فقد زاد الاهتمام بالذرة الشامية كبديل لانتاج الإيثانول في الوسط الغربي للولايات المتحدة.

ورغم ارتفاع كفاءة قصب السكر مقارنة بالذرة الشامية في انتاج الإيثانول إلا أن هناك صعوبات تحول دون الاعتماد عليه ـ قصب السكر ـ كبديل للوقود الأحفوري لتدني كفاءة انتاجه للطاقة، وبالتالي انخفاض عدد الأميال للجالون مقارنة بالجازولين. فضلاً عن ذلك فإن عملية استخلاص الإيثانول من قصب السكر تأخذ وقتاً طويلاً لتنتج كمية قليلة نسبياً، بسبب أنها تعتمد على التخمر بواسطة الخميرة التي تأخذ عدة أيام.

يعمل علماء الكيمياء منذ وقت طويل على تطوير طريقة لتحويل قصب السكر إلى وقود بديل يسمى ٢،٥ ثنائي ميثيل الفيوران (2,5 Dimethyl Furan- DMF) يتمتع بطاقة تفوق الإيثانول بحوالي ٤٠٪، بل تماثل الطاقة المنتجة من الجازولين.

يتركز انتاج مركب (DMF) ـ حالياً ـ في المختبر حيث يقوم محفز حمضي بنزع أكسجين من الجلوكوز أو الفركتوز لتحويله إلى مركب وسيط يدعى ٥- هيدوكسي ميثيل فيورفيورال (5- Hylroyymethy Furfural- HMF) له القدرة على التفاعل مع السكر المتبقي في وجود الماء، بالتالي هناك مشكلة في استخلاصه بشكل نقي ليتم تحويله إلى (DMF).

قام جيمس دومسيك (James Dumesic) ـ مهندس كيميائي بجامعة ويسكونس ـ ومجموعته بالتغلب على هذه المشكلة عن طريق إضافة محلول ملحي للمحفز الحمضي وتعريض خليط السكر والملح والمحفز إلى مركب هيدروكربوني، وبذلك يمكن فصل (HMF) من السكر المتبقي من التفاعل وإذابته في المركب الهيدروكربوني. تلى ذلك خلط (HMF) المذاب في المركب الهيدروكربوني مع غاز الهيدروجين في وجود محفز نحاس ـ روثينيوم، حيث قام الهيدروجين بنزع ذرتي أكسجين من (HMF) لتحويله إلى (DMF) وماء.

ويذكر دومسيك أنه من السهل تطبيق الطريقة الجديدة لإنتاج (DMF) على مستوى تجاري، ولكن لابد من إجراء المزيد من الأبحاث على الأثر البيئي للوقود الجديد قبل الإقبال على انتاجه تجارياً.

ويعلق لاندي شمدث (Landy Schmidt) من جامعة مينسوتا أن الطريقة الجديدة لإنتاج (DMF) تمتاز ببساطتها وسرعتها الفائقة مقارنة بطريقة التخمير المستخدمة في إنتاج الإيثانول، فضلاً عن أنها زهيدة الكلفة.

المصدر:-

http://www.sciencenews.org/ articles/ 20070623/fob6.asp



تقنية النانو لتحسين جودة الخرسانة

عبدالرحمن الغيهب
زهير أبو زيد

يعد الأسمنت من المواد ذات الأهمية البالغة في المجتمعات ذات النهضة العمرانية؛ نظراً لأهمية تواجده في مختلف أنماط البناء والتشييد، من المباني والجسور والبنى التحتية، ونظراً للطفرة الاقتصادية الهائلة وما يواكبها من تطور منقطع النظير في البنى التحتية والنهضة العمرانية، والذي يترتب عليه استخدام كميات كبيرة من المواد الأسمنتية، فقد ساهم الجانب البحثي - قدر الإمكان - في تحسين خواص المواد الأسمنتية وتدعيم تكوينها بما يتناسب مع الاستخدامات المتعددة لها.

ونظراً لما تتعرض له المادة الأسمنتية من مشاكل فنية، سواء فيما يتعلق بمستوى الصلابة والمرونة، أو تحمل الظروف المناخية، والتي عادة ما ينتج عنها تشققات وتصدعات مرئية وغير مرئية، ولما لاستخدامها بكميات كبيرة أثر في زيادة الأحمال على أساسات المباني، فضلاً عن زيادة تكلفة الإنشاء؛ لذا كانت الدراسات البحثية في هذا المجال ضرورة حتمية؛ لتحسين كفاءة وجودة الأسمنت، بما يتناسب مع قدرة تحمل الإجهادات والظروف المناخية المختلفة، وكذلك مقاومته للتشققات والتصدعات، وتحسين العزل الحراري، وزيادة الصلابة، وامتصاص الاهتزازات للمباني الشاهقة الارتفاع، وتقليل كمية المادة الخرسانية المستخدمة، وبالتالي تقليل التكلفة.

مكونات الخرسانة

الخرسانة - بشكل مبسط - عبارة عن خليط غير متجانس من الركام (الحصمة) والأسمنت والماء يتخللها بعض الفراغات الهوائية. ويظهر التميز في الجودة بإضافة بعض المواد المساندة للحصول على خواص معينة مدروسة سلفاً، ويمكن التفصيل في هذه المكونات فيما يلي:-

● الأسمنت

الأسمنت مادة ناعمة داكنة اللون، تمتلك خواص تماسك وتلاصق بوجود الماء مما يجعلها قادرةً على ربط مكونات الخرسانة (مجملة) بعضها ببعض وتماسكها مع حديد التسليح. يتكون الإسمنت من ثلاث مواد خام أساسية هي كربونات الكالسيوم الموجودة في الحجر الكلسي، والسليكا الموجودة في الطين والرمل، والألومينا.

هناك عدة أنواع من المادة الاسمنتية تأخذ اسمها من الغرض المصنوعة لأجله، ولكن تبقى مكوناتها الأساسية واحدة، وإن اختلفت نسبها من نوع لآخر، ومن هذه الأنواع: الأسمنت البورتلاندي العادي، والأسمنت البورتلاندي سريع التصلد، والأسمنت البورتلاندي منخفض الحرارة، وكثير غيرها.

● الركام

يتكون الركام (الحصمة) بصورة عامة من حبيبات صخرية متفاوتة الحجم، منها: حبيبات صغيرة كحبيبات الرمل، وأخرى كبيرة كالحصى. يشكل الركام الجزء الأكبر من هيكل الخرسانة، وهو الذي يعطيها استقراراً ومقاومة للقوى الخارجية والعوامل الجوية المختلفة، كالحرارة والرطوبة والتصلب. لذا فإن الركام يعطي للخرسانة المتانة والقوة أفضل مما لو استعملت عجينة الأسمنت لوحدها.

للحصول على خرسانة متينة؛ يجب أن يتميز ركامها بعدم تأثره بالعوامل الجوية المختلفة كالحرارة والبرودة والتصلب؛ والتي تؤدي إلى تفككه، كما يجب أن لا يحصل تفاعل ضار بين معادن الركام ومركبات الاسمنت، كما يعد خلو الركام من الطين ومن المواد غير النقية والتي تؤثر على مقاومة وثبات عجينة الأسمنت مهم جداً، ومن شروط الركام التقليدية الجيدة أن تكون حبيباته شبه كروية الشكل، وغير



● أحد أمثلة إنهيار المباني (الصين).

مقطعة، وأن لا تزيد نسبة الامتصاص فيها عن ٥٪. كما يجب أن يخضع الركام للغسيل قبل استخدامه؛ وذلك لضمان خلوه من المواد العضوية والأملاح الضارة. كما تؤثر نوعية وخواص الركام تأثيراً كبيراً على خواص الخرسانة ونوعيتها؛ لكونه يشكل حوالي (٧٥٪) من الحجم الكلي للكتلة الخرسانية.

● الماء

تكمن أهمية توفر الماء في الخلطة الخرسانية؛ لإتمام التفاعل الكيميائي. كما أنه ضروري لكي تمتصه الحصمة المستعملة في الخرسانة. ويعطي الماء الخليط المؤلف من الركام الخشن والناعم والأسمنت، درجة مناسبة من الليونة تساعده على التشغيل والتسجيل كما تكمن أهمية الماء أيضاً في عمليات إيناع الخرسانة أثناء تصلبها.

يتمثل التأثير الجيد للماء في الخلطة الخرسانية بنسبه الحجمية المختلفة إلى نسبة المادة الأسمنتية، أو بمعنى آخر نسبة وزن الماء الحر المخصص للتفاعل، إلى وزن الأسمنت في الخلطة.

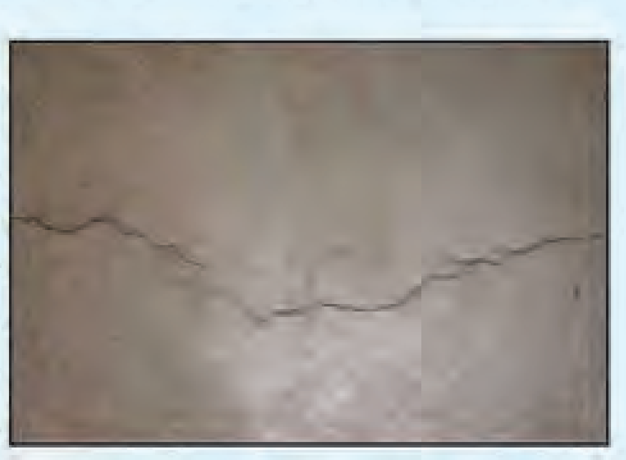
● المواد المضافة

تمثل المواد المضافة العنصر الرابع من مكونات الخلطة الخرسانية، والذي هو أساس الدراسات والأبحاث الحالية لتطوير الخرسانة التقليدية بعناصرها المذكورة آنفاً. فتلك الإضافات، عبارة عن عدة مواد أو تراكيب تضاف للخرسانة أثناء عملية الخلط لتحسين خاصية أو أكثر من خواص الخلطة الخرسانية، ومن هذه الخواص ما يلي:-

١- تحسين قابلية التقليب للخرسانة الطرية.
٢- إمكانية تعجيل التصلب للحصول على مقاومة عالية.
٣- إمكانية إبطاء عملية التصلب (التشكل) للخرسانة الطرية في الأجواء الحارة، أو عند الحاجة لنقلها لمسافات بعيدة.
٤- خفض الحرارة المتولدة وتقليل النضح أو النزف.
٥- منع تكون صدأ الحديد.

المؤثرات البيئية على الخرسانة

أدى الاختلاف المناخي من منطقة إلى أخرى، وتعدد ظروف استخدام الخرسانة إلى ضرورة إجراء الدراسات البحثية الدقيقة؛ لإنتاج أنواع جيدة من الخرسانة قادرة على تحمل التفاوت الكبير في درجات الحرارة بين الليل والنهار، والتفاوت الكبير في الطقس بين الشتاء والصيف، إضافة إلى تعرضها في المناطق الساحلية إلى الحرارة الشديدة والرطوبة العالية معاً، وتعرضها لأملاح الكلور المتطايرة في الجو أو الذائبة في التربة، وخطورة أول أو ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين الصادرة من عوادم السيارات والمصانع، مما يؤدي إلى آثار سلبية على مقاومة الخرسانة، ويقلل من عمرها الافتراضي. كما تتعرض الخرسانة في مناطق ساحلية أخرى إلى ظروف مناخية أشد ضراوة تتمثل في: الرطوبة العالية، وأملاح الكلور التي توجد في جيوب داخلية تظهر عند طحن المكونات أو تكسيرها. وفي بيئتنا المحلية (بشكل عام) تتعرض الخرسانة إلى تربة ملوثة بأكاسيد الكبريت الناجمة عن تسرب مياه الصرف الصحي، مما يؤدي إلى حدوث مشاكل كثيرة في الخرسانة، منها التآكل في المباني الخرسانية المسلحة.



● صورة لتشققات تحدث في السطوح الخرسانية.

يكمن التأثير السلبي لتلك العوامل في: إحداث تفاعلات كيميائية مع الخرسانة العادية أو المسلحة، مما يؤدي إلى تحلل المكونات الرئيسية لها وتآكلها. كذلك تتعرض قضبان الحديد إلى التأكسد (الصدأ)، مما يؤدي إلى حدوث تشققات فيها، كما تتآكل الخرسانة نتيجة لبعض التفاعلات الكيميائية، كما هو الحال في التفاعل الكيميائي بين الكبريت الذائب مع المادة الأسمنتية، كما يؤدي تسرب الأملاح الأخرى إلى المسامات الخرسانية وتبلورها بداخلها إلى تفكك الأجزاء الخارجية للخرسانة تدريجياً، وبالتالي تفقد الخرسانة وظيفتها الأساسية، وهي توفير الحماية الكافية لقضبان التسليح ضد الصدأ، ومنع تآكلها في الظروف العادية؛ لأنه من المهام الرئيسية للخرسانة: توفير الغطاء الكافي حول الحديد لمنع وصول الأملاح الضارة - خاصة أملاح الكلور - إليها.

ونظراً لتعاقب حدوث هذه العوامل وتأثيرها على الخرسانة القائمة؛ فقد كان لحل المشاكل القائمة نصيباً من البحث والتطوير لإيجاد الحلول المناسبة.

تتمثل بعض الحلول المتوفرة - في الوقت الحاضر - في إزالة أجزاء الخرسانة المتضررة إلى ما وراء حديد التسليح وتنظيفه جيداً، ومن ثم طلاؤه بمواد خاصة لهذا الغرض كالأيبوكسي المشبع بالخارصين. وبعد الانتهاء من إصلاح الخرسانة يتم طلاء سطحها بمواد عازلة، وذلك لتحسين أدائها المستقبلي. وأخيراً ينتقى من الدهانات ما هو مقاوم للعوامل البيئية المختلفة.

تعد مشكلة حدوث التشققات من أهم المشكلات التي تتعرض لها الخرسانة، حيث تعطي مؤشراً واضحاً عن حالة المنشأة، والتي تتباين في أسبابها وخطورتها وتأثيرها على المنشآت. وبشكل مختصر يمكن القول إن هناك نوعان رئيسان من التشققات:-

١- **تشققات ذاتية:** ناتجة عن الانكماش اللدن، أو الهبوط، أو التقلص المبكر أو الجاف.

٢- **تشققات خارجية:** ناتجة عن زيادة الحمولات أو سوء استخدام المبنى، أو سوء التنفيذ أو سوء التصميم أو عدم استعمال مواد مطابقة للمواصفات.

تحسين الخرسانة

يمكن تحسين كفاءة وجودة الأسمنت من خلال طرق متعددة، يأتي في مقدمتها: محاولة إضافة كميات معينة من أنابيب الكربون النانوية لمادة الأسمنت لإضفاء الدعم الفيزيائي والكيميائي والميكانيكي عليها. وقد ظهرت في السنوات الأخيرة بعض الدراسات الأولية في هذا المجال والتي توحي بفعالية هذه الطريقة.

أدى الدعم المكثف للبحوث في مجال تقنية النانو إلى أن ينال مجال التشييد والبناء نصيبه، خصوصاً فيما يتعلق بترشيد تكاليف البناء، ومحاولة إيجاد السبل الكفيلة بتأمين/بضمان سلامة البناء وتحمله لجميع الظروف البيئية والظواهر الطبيعية، فقد انصبت البحوث والدراسات في هذا المجال على تحسين الخرسانة والمادة الأسمنتية على وجه العموم. فمثلاً كان للتقنية النانوية في أوربا عشرين توجهاً، من واقع ٢٥٠ توجهاً وذلك في تقنية الإنشاء بشكل عام. كذلك تضمنت المبادرة الأمريكية دراسة أساسيات المواد واكتشاف مواد جديدة، والتي منها أنابيب الكربون النانوية، وتطوير أنظمة التمثيل والمحاكاة لتلافي إجراء الاختبارات الفعلية. وفي استراليا ظهرت مبادرة للاستفادة من تقنية النانو في تحسين مجال البناء من مواد ومكونات. كما ظهرت في كندا أيضاً تقارير حكومية عدة تعطي أهمية قصوى لدور التقنية النانوية في الإنشاءات، وخاصة فيما يتعلق بالأسمنت والمكونات الناتجة عنه.



● أنابيب الكربون النانوية تعمل على ربط مكونات الأسمنت

أسهم هذا التسابق العلمي في تحسين جودة البناء - خاصة في جزئية الخرسانة - بشكل فعال وملحوظ في التطوير المقنن. فقد أدت نتائج الأبحاث في مجال الخرسانة إلى اكتشاف مركبات كيميائية نانوية جديدة عالية الفعالية لتلدين الخرسانة، وكذلك الياف فائقة القوة ذات قدرة استثنائية لطاقة الامتصاص. فعلى سبيل المثال تبين من البحث العلمي: أن إضافة جزيئات على مستوى النانو لمواد مثل ثاني أكسيد السليكون إلى الخرسانة والبوليمر قد وفر لها أداءً عالياً عن طريق التراص الذاتي وتحسين القوة والتحمل. كما أظهرت الدراسات النانوية إمكانية إضافة صفات جديدة مثل: التوصيلية الكهربائية، والحرارة، ونسبة الرطوبة. هذا وسيكون التطوير القادم منصب على الروابط النانوية، وحبيبات النانو؛ لمعالجة المشاكل القائمة وتحسين الخواص.

تعد أنابيب الكربون النانوية (Carbon Nanotubes) أحد المواد المدهشة التي من الممكن أن تغير خارطة الصناعة في المستقبل، فهي عبارة عن صفائح من الجرافيت أو ذرات من الكربون مطوية على شكل أنابيب يتراوح قطرها ما بين ١ إلى ٣ نانومتر، بينما يصل طولها إلى أكثر من ١٠٠٠ ضعف قطرها، مما يجعلها أحادية البعد نظراً لقصر قطرها مقارنة بطولها، وهي ذات أهمية كبيرة في التطبيقات الإنشائية في الوقت الحاضر وذلك لتحسين خواصها الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية.

يعد معامل الصلابة (يونغ) بامتداد المحور العالي - يعادل 10^{12} نيوتن/متر

مربع أي ٥ أضعاف صلابة الفولاذ - من الخواص الميكانيكية المميزة لأنابيب النانو الكربونية، ونظراً لأنها - بشكل عام - مرنة؛ نتيجة لزيادة طولها مقارنة بقطرها، وخفة وزنها فإنها مناسبة جداً لدمجها مع المادة الاسمنتية لزيادة صلابة الخرسانة، ورفع مستوى ربط حبيباتها لتلافي التشققات ولتخفيف وزنها.

تعد تكلفة إنتاج انابيب الكربون النانوية، عالية الجودة باهظة الثمن إذ يبلغ متوسط سعر الجرام الواحد ٦٠٠دولار، وتقل تكلفتها تباعاً إلى أن تصل إلى أسعار دنيا مما يسمى بأنابيب الكربون النانوية الصناعية، ويعتمد سعر المنتج من تلك الأنابيب على جودة المنتج ونقائه. فالانابيب الكربونية المنتجة بكميات كبيرة وقليلة التكلفة تقل في جودتها عن الانابيب الكربونية النانوية النقية والمنتظمة، ويعزى التباين هنا إلى اختلاف طرق تصنيعها.

تحسين الخواص الفيزيو ميكانيكية للخرسانة

يمكن تحسين الخواص الميكانيكية للخرسانة باستخدام التقنية النانوية وذلك بإضافة مواد نانوية داعمة لمكوناتها، تتراوح تلك المواد ما بين الكريات النانوية التي قد تمنع تكون التصدعات الداخلية، وبين الاليات النانوية أو القضبان الحديدية.

يعد أسمنت بورتلاند (Portland Cement) التقليدي أكثر أشكال الاسمنت استخداماً في الخرسانة، ويتم تحضيره بواسطة طحن مكوناته ذات الأجسام والقياسات المختلفة مع الجبس (Gypsum) إلى أن تصبح تلك المكونات في ظاهرها مسحوقاً ناعماً متجانساً. تحتوي المادة الاسمنتية الأساسية على سلسلة من المواد.

١- سيليكات الكالسيوم الثلاثية (Tricalcium silicate- C3S).

٢- سليكات الكالسيوم الثنائية (Dicalcium silicate- C2S).

٣- الومينات الكالسيوم الثلاثية (Tricalcium aluminate- C3A).

٤- حديد وألومينات الكالسيوم الرباعية (Tetracalcium aluminoferrite- C4AF).

تعد سليكات الكالسيوم الثنائية والثلاثية من أهم العناصر المكونة للاسمنت البورتلاندي، حيث يحدث عند خلط هذه المواد بالماء تفاعلات كيميائية تعمل على ترابط الاسمنت الصلب. وبفحص عينات من الأسمنت، يمكن القول: إن حجم حبيبات الاسمنت يتراوح ما بين ٥ إلى ٣٠ مايكرو متر.

يعد الاسمنت الصلب المتكون مادة أشبه بالحديد الزهر (Brittle Material)، وهي قوية في حالة الضغط أكثر منها في حالة الشد. حيث تعطي قوة الشد مقداراً أقل من ٤ ميجا باسكال. أما في حالة الضغط: فهي أقوى بمقدار عشرة أضعاف هذا المقدار. لذا فقد تضاف مواد داعمة للأسمنت كقضبان الحديد أو الألياف؛ لزيادة مقاومة الشد. كما يتم تطبيق اختبارات الشد المسبقة واللاحقة لاعمدة الخرسانة لإضفاء صلابة عليها، ومازالت الدراسات جارية لإضفاء قوة وصلابة للخرسانة لتحمل أعباء الاحمال المسلطة عليها.

تعتمد قساوة الخرسانة على عدة عوامل، من أهمها:

١- كمية الماء المضاف إلى المادة الاسمنتية في الخليط الحر.

٢- درجة وحجم المسامات (Porosities) التي تظهر في بنية الأسمنت.

٣- التصدعات الداخلية على مستوى الماكرو في المادة الرابطة.

٤- جودة الربط بين الركام والمادة الاسمنتية.

أوضحت الدراسات المبدئية أن أنابيب الكربون النانوية هي إحدى الطرق العلمية الفعالة لتحسين وتدعيم الخرسانة مقارنة بالالياف التقليدية المستخدمة في الصناعة، إذ أن لديها من الصلابة ما يفوق صلابة الالياف المستخدمة بمراحل، مما يساعد على إضفاء الصلابة على المنتج النهائي، ويعود ذلك إلى التفاوت الكبير بين طولها وقطرها، مما يعطيها طاقة إضافية لمقاومة التصدعات في المواد التي تضاف إليها، كما تعمل على الحد من انتشار تلك التصدعات إن وجدت، وهي تتفوق بهذه الخاصية على الالياف الكربونية النانوية التي تكون نسبة طولها إلى قطرها الصغير، مما يجعل لها قدرة هائلة على الانتشار في خليط الأسمنت بسهولة اكبر، وخاصة في المسامات الصغيرة جداً مقارنة بالالياف التي تكون أقطارها كبيرة نسبياً. وأخيراً، يمكن معالجة انابيب الكربون النانوية لتتفاعل مع مكونات الأسمنت فينتج عن ذلك نقلة نوعية في مجال صناعة الأسمنت وخطوط إنتاجه الضخمة.

تحديات التقنية

يواجه استخدام تقنية النانو في تصنيع الأسمنت والخرسانة العديد من المشاكل والتحديات من أهمها ما يلي:-

- **التكلفة العالية**

تعد تكلفة إنتاج أنابيب الكربون النانونية، عالية الجودة باهظة الثمن، إذ

يبلغ متوسط سعر الجرام الواحد ٦٠٠ دولار، وتقل تكلفتها تباعاً إلى أن تصل إلى أسعار منخفضة بما يسمى بأنابيب الكربون النانوية الصناعية. فزيادة التكلفة مرهون بجودة المنتج ونقاءه

● الجودة العالية

يعد إعداد خليط من الأسمنت وأنابيب الكربون النانوية ذات الجودة العالية والترابط المنسجم بين المادتين أحد المشاكل الرئيسية القائمة فيما يخص استخدام الأنابيب الكربونية النانوية. وقد تولدت عدة طرق لحل تلك المشكلة، ومن هذه الطرق ما يلي:-

١- غمس أنابيب الكربون في خليط من مادة عالقة فاعلة (Surfactant) كالماء أو أي مذيب آخر، كما هو شائع في المركبات المبلمرة. وقد بينت الأبحاث الأولية في مجلس البحث الوطني الكندي أن كمية قليلة من أنابيب الكربون النانوية يمكن أن تضاف إلى الماء في وجود ذبذبات صوتية ذات ترددات عالية (Sonication) ونسبة ٥٪ من المادة العالقة (Superplaticizer). وليس من الواضح بعد أن كانت هذه الطريقة تمكن من الوصول إلى نسبة حجمية ٢-١٠٪ من الأنابيب الكربونية النانوية في الماء، مقارنة بحجم المادة العالقة، والتي تعتبر ضرورية لتحسين الخواص الميكانيكية لمركبات مثل: مركبات السيراميك. ومازال البحث جارياً للوصول إلى نتائج أكثر إيجابية لتطبيقها على تطبيقات الخرسانة.

٢- إنتاج مركبات الألومينا مع الأنابيب الكربونية النانوتية بإذابة نحو ٠,٠٠٧ جرام من الأنابيب الكربونية في الإيثانول تحت تأثير الموجات فوق الصوتية بطاقة متدنية لمدة ساعتين، ومن ثم إضافة ٠,٤٣ جرام من الأسمنت البورتلندي إلى السائل لتكوين خليط من الإيثانول والاسمنت والأنابيب الكربونية النانوية. يستمر بعدها تأثير الموجات الصوتية لمدة ٥ ساعات، ومن ثم يسمح للإيثانول بالتبخر مخلفاً أنابيب كربونية نانوية مرتبطة بشكل منسجم مع جزيئات الأسمنت (Cement grains).

من الجدير بالذكر أن عمليات التأثير الصوتي والتبخير تحدث تغيرات في التركيب البنائي لحبيبات الأسمنت (Cement particles) بحيث تجعلها خشنه الملمس، كما يتم عزل الحبيبات، بحيث ترتبط الحبيبات الصغيرة بأنابيب الكربون النانوية، بينما تستقر الحبيبات الأكبر في الأسفل.

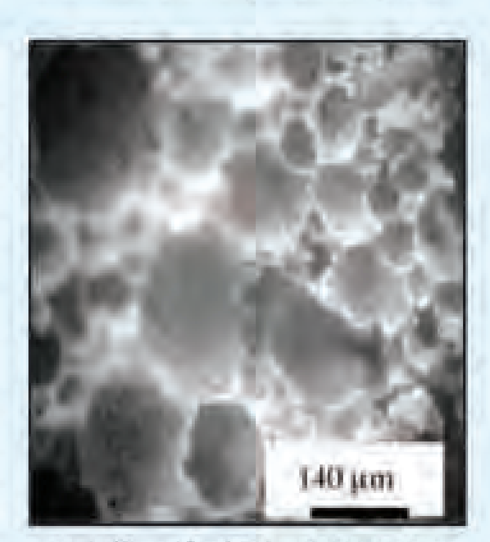
استخدمت أنابيب الكربون النانوية لتحسين الخواص الفيزوميكانيكية (physicomechanical Properties) لنوعية من الأسمنت تسمى (Non Autoclave Cement Foam Concretes) حيث كان المنتج ذو كثافة ٠,٠٨٦ جرام/سم٣ يحتوي على أنابيب كربون نانوية ذات قطر يتراوح بين ٤٠-٦٠ نانومتر. يوضح الجدول (١) مدى تحسن الخواص الفيزوميكانيكية للمنتج. حيث قلت الكثافة، وزاد تحمل الضغط بنسبة ٧٠٪ بينما قلت قابلية التوصيل الحرارية بنسبة ٢٠٪ نتيجة لإضافة الأنابيب الكربونية إلى مكونات الخرسانة بنسبة ٠,٠٥٪.

كذلك أجريت دراسة بحثية أخرى بتحضير عينات من خليط الأسمنت المحتوي على ٠,٠٢ نسبة وزنية من الأنابيب الكربونية النانوية والماء، بنسب مختلفة وكميات نسبية من الماء إلى الأسمنت مع نسب مختلفة من المادة العالقة (Snperplasticiszer) وتركت في أواني التحضير المعزولة لأيام متعددة محتفظة بنسبة الرطوبة الكاملة.

أجريت هذه الدراسة بغرض معرفة مدى تأثير بقاء الخليط في هيئته السائلة لفترة طويلة.

الرقم	كمية الأنابيب (٪) لكمية الخليط	الكثافة (كجم/م٣)	مستوى تحمل الضغط (ميجاباسكال)	معامل الموصلية الحرارية (واط/م٢)	حجم الحبيبات (نانومتر)	حالة جدار الحبيبات
١	٠	٣٣٠	٠,١٨	٠,٠٧	٤٠-٦٠٠	متشكل
٢	٠,٠٥	٣٠٩	٠,٣٠٦	٠,٠٥٦	٦٠-١٥٠	متجانس

● جدول (١) تحسين صفات الخرسانة بواسطة أنابيب الكربون النانوية.



● خليط لمادة الأسمنتية (Cement form) بنسبة ٠,٠٥٪ من أنابيب الكربون النانوية.

تطبيقات تقنية النانو في العزل الحراري

د. أسامة بن جاسم الدريهم

يستخدم العزل الحراري بقصد المحافظة على ثبات درجة الحرارة داخل فراغ الجسم المعزول ليبقيه ساخناً أو بارداً عن الجو المحيط به، و يتحقق ذلك: بتغليف الجسم بمادة عازلة للحرارة تعمل على إبطاء تسرب الحرارة من وإلى البيئة الخارجية. وتشاهد فوائد العوازل في تطبيقات كثيرة مختلفة، ولكنها تكتسب أهمية قصوى في تقليل استهلاك الطاقة وزيادة الأداء في استعمالات عديدة، مثل: عزل المباني، ومكائن الاحتراق الداخلي، ومحركات توليد الطاقة التربينية، والأفران... إلخ.

وتكمن أهمية العزل في أمرين جوهريين هما: ترشيد استهلاك الطاقة، والمحافظة على البيئة من خلال تخفيض غازات العوادم المنبعثة من المكائن والمحركات المستهلكة للوقود النفطي.

وتعد قوة مقاومة سريان الحرارة في مواد العزل المطلب الأساس الذي يجب توفره في العزل الحراري، والتي تكمن في مقدرة العازل على تقليل سرعة انتقال الحرارة بآلياته الثلاث التوصيلية (Conduction)، والتصعيدية (Convection)، والإشعاعية (Radiation)، سواء كانت متفرقة أو متحدة. ويتم ذلك من خلال نظامين للعزل هما:

١. مواد مسامية تحتجز هواء أو غازات أخرى مثل عوازل الصوف الصخري.

٢. استخدام كساءات من طبقات عاكسة للحرارة مثل تلبيسات الزجاج الشفافة.

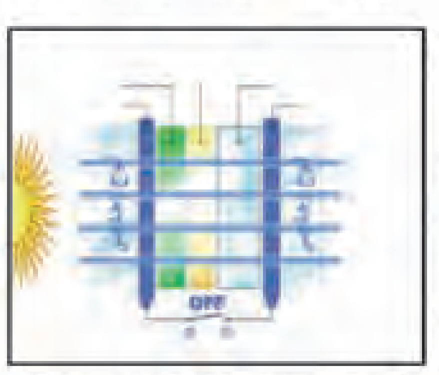
يتناول هذا المقال التشكيلات المختلفة لمواد العزل الحراري النانومترية، والتي يمكن الاستفادة منها في عزل الجدران والأسطح الزجاجية.

الهلاميات الهوائية والرغويات النانوية

الهلاميات الهوائية (Aerogels) عبارة عن مواد عالية المسامية ومتدنية الكثافة، أما الرغويات النانوية (Nano foams) فهي شبيهة للهلاميات، بل تكاد تكون نسخة طبق الأصل منها، وعليه: فإن وصف الهلاميات "الأصل" يفي بالغرض ويغني عن التكرار.

تتألف الهلاميات الهوائية من ٩٠ إلى ٩٩,٨٪ هواء، وتمتلك كثافة تتراوح ما بين ٣ إلى ١٥٠ ملجم لكل سم³، وتكون بحالة جامدة مشابهة للهلام مع اختلاف أن الهواء حل محل السائل في الهلام السائل. وبسبب طبيعتها شبه الشفافة، تلقب الهلاميات الهوائية بالدخان الثلج، والدخان الجامد، والدخان الأزرق، شكل (١).

وبالرغم من هشاشتها وسهولة كسرها، تستطيع الهلاميات تحمل أثقال تعادل ألفين ضعف أوزانها، ويرجع ذلك إلى أن بنيتها الهيكلية عبارة عن حبيبات كروية الشكل، ذات مقاس متوسط يتراوح ما بين ٢ إلى ٥ نانومتر، وملتصقة بعضها ببعض في تشكيلة عنقودية ممتدة في اتجاهات الفراغ الثلاثة، مكونة هيكل شديد المسامية،



● شكل (١) الهلاميات الهوائية (دخان مثلج).

والتي يكون فيها المسام الواحد أصغر من مئة نانومتر.

وتعد الهلاميات الهوائية عوازل حرارية استثنائية لما تمتلكه من صفات خارقة -مقارنة بالعوازل الحرارية الأخرى- في منع انتقال الحرارة بطرقها الثلاث (التوصيلية والتصعيدية والإشعاعية)، ويرجع السبب في ذلك إلى ما يلي:

١- يتم منع انتقال الحرارة بالتصعيد (Convection)؛ لأن الهواء يتم حجزه في المسامات الدقيقة الموجودة في تلك الهلاميات، ويكون غير قادر على الحركة والدوران، وبذلك يتم كبت انتقال الحرارة بالتصعيد.

٢- تعد هلاميات السيليكا عازل جيد لسريان الحرارة بالتوصيل (Conduction)؛ لأنها موصل ضعيف للحرارة.

٣- تمنع هلاميات الكربون انتقال الحرارة، بالاشعاعية (Radiation) بسبب خاصية الكربون في امتصاص الاشعة تحت الحمراء.

تُعد هلاميات خليط السيليكا والكربون من العوازل المثالية في وقف سريان الحرارة، وبصفة عامة تتميز بكفاءة عزل رائعة تعادل ٢-٨ مرات أكبر من المتاحة في مواد العزل التقليدية، وتوضح الصورة في شكل (٢) المقدرة الخارقة لهلاميات الهواء في منع انتقال حرارة شعلة ملتهبة.

• الطبقات الرقيقة والخلائط النانوية

هناك عدد من التقنيات الحديثة التي تم تطويرها على هيئة طبقات رقيقة



• شكل (٢) المقدرة الخارقة لهلاميات الهواء في منع انتقال حرارة شعلة ملتهبة.

• شكل (٣) تأثير التقنيات المتضمنة حبيبات وسوائل بلورية على درفتي الزجاج.

(Thin Films) ومواد مركبة من خليط لعناصر نانومترية (Nanocomposites) يمكن توظيفها في العزل الحراري، خصوصاً من خلال الأسطح الزجاجية، ومن هذه التقنيات ما يلي:

* تقنية تغير اللون بالضوء والحرارة:

ويستفاد منها بصنع طبقات شفافة، تحتوي على ذرات متناهية الصغر، ذات مقدرة على تغيير ألوانها من الحالة الشفافة إلى لون داكن عند تعرضها لضوء أو حرارة الشمس، ويتم تكسية الواجهات الزجاجية بهذه الطبقات لتحصينها من الحرارة الناتجة من الأشعة تحت الحمراء. ومن الواضح أن هذه التقنية تعد عديمة الفائدة في حفظ الطاقة في الأجواء الباردة أو في فصل الشتاء، بل على العكس تعمل طبقات هذه التقنية على منع دخول أشعة الشمس الدافئة إلى فناء الحيز المكسي بها، مما يزيد من استهلاك طاقة التدفئة وتدني كفاءة هذا النوع من هذه الطبقات بسبب عدم وجود وسيلة للسيطرة على شفافيتها.

* تقنية تغير اللون بالكهرباء:

وهي عبارة عن زجاج يتم علاجه بطبقات تحتوي على:

١- حبيبات يمكن تغيير لونها بالكهرباء.

٢- شاشات تحتجز حبيبات معلقة يمكن تغيير لونها بالكهرباء.

٣- سوائل بلورية يمكن تغيير لونها بالكهرباء.

ويمكن التحكم بدرجة الظلام في الزجاج المعالج بهذه التقنيات، بواسطة تيار كهربائي مسلط يمكن رفع درجة شدته للحصول على مستوى تعتيم أكبر. ويعتمد عمل هذه الأنواع من الطبقات والشاشات على الخواص الفريدة لمواد الحبيبات، والتي تتبدل فيها خواص الامتصاص والانعكاس للضوء عند تعرضها للتيار كهربائي. ويوضح شكل (٣) صورة لتأثير هذه التقنية على تبديل الشفافية إلى عتمة ضبابية في درفتي الزجاج الجانبيتين للجدار الزجاجي.

تعتمد طريقة عمل تقنية تغيير اللون نتيجة تعرضه للكهرباء - شكل (٤) - على نظام يتألف من خمس طبقات شفافة رقيقة



• شكل (٤) رسم تخطيطي لنموذج سطح شفاف جُهز بتقنية تغيير اللون.

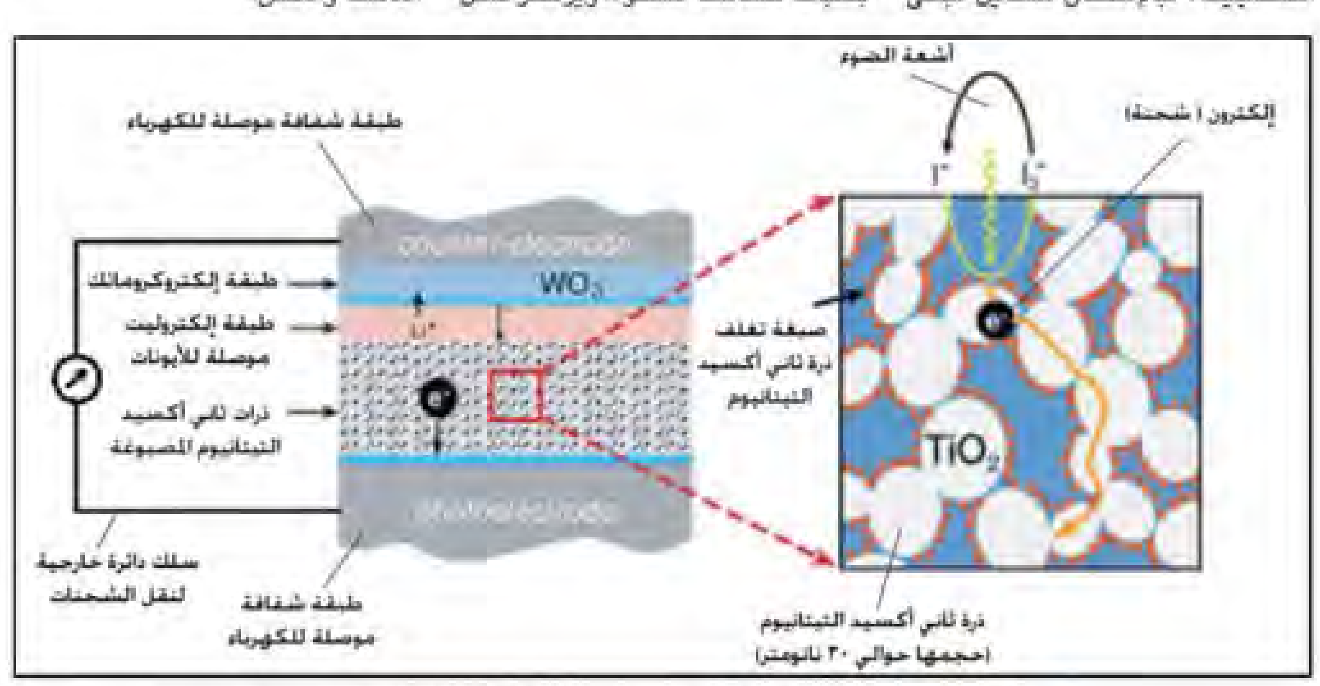
ومتلاصقة، لا تتعدى سماكة كل واحدة منها واحد ميكرومتر، ويغطي أحد سطحي الطبقتين الطرفيتين غشاءان شفافان موصلان للكهرباء، ويسمحان بعبور تام للضوء، مع حبس هذه الطبقات بين لوحي الزجاج المعني بالمعالجة.

قبل تزويد قطبي الدائرة بالكهرباء - وضع الخمول - ينفذ الضوء والحرارة بالكامل من خلال التشكيلة الطبقية، كما هو موضح بالشكل، وعند توصيل القطبين بفرق للجهد؛ يعمل القطب السالب على جذب الأيونات ذات الشحنة الموجبة والمخزنة في طبقة تخزين الأيونات لتتحرك نحو طبقة الإلكتروكروماتك عبر الطبقة الموصلة للأيونات محدثة تفاعلاً كهروكيميائي في طبقة الإلكتروكروماتك ينتج عنه قتامة في طبقة الإلكتروكروماتك، تعتمد درجة القتامة على مقدار فرق الجهد المسلط. ويمكن إعادة التشكيلة الطبقية إلى الوضع الشفاف بعكس الجهد الكهربائي. ولابد من الإشارة هنا أن ما يميز هذه التقنية هو ترشيدها الفائق للطاقة التشغيلية، فبالإمكان تشغيل مبنى

بالكامل مجهز بنوافذ زجاجية مزودة بهذه التقنية بما لا يتجاوز ٥٧ واط فقط.

وفي تطور آخر، استطاع العلماء تطوير تقنية تغيير اللون بالكهرباء، السابقة الذكر، لتعمل ذاتياً وبدون الحاجة إلى مصدر خارجي لتزويد الكهرباء وذلك بابتكار فكرة تشابه تلك المستعملة في الخلايا الشمسية. ويوضح شكل (٥) أجزاء جهاز تقنية تغيير اللون بالكهرباء المطور، ويلاحظ فيه أن طبقة تخزين الأيونات الموجودة في الجهاز السابق قد استبدلت في الجهاز المطور بطبقة تحتضن ذرات نانومترية لثاني أكسيد التيتانيوم المغلفة بصبغة حساسة للضوء. ويرتكز عمل الجهاز على دور كل من الذرات والصبغة الحساسة في توليد و نقل الشحنات الكهربائية، فعند سقوط أشعة الشمس على الجهاز تقوم الصبغة بامتصاص جزء من الضوء الساقط لتنطلق إلكترونات يتم حقنها في ذرات ثاني أكسيد التيتانيوم لتنتقل إلى القطب الملاصق لتلك الذرات، وتتولى الدائرة الخارجية مهمة توصيل الإلكترونات إلى القطب الملاصق لطبقة الإلكتروكروماتك لتؤدي دورها المعتاد مع بقية الطبقات.

*** تقنية الحبيبات العاكسة للضوء:**
وتندرج تقنياً تحت تصنيف الطبقات المتغيرة اللون نتيجة تعرضها للكهرباء، إلا أن أداءها وسلوكها مختلف تماماً عن تصنيفها. فمثلاً في الطبقات المتضمنة لحبيبات الهيدروجين العاكسة، تعمل الحبيبات على عكس الضوء وليس امتصاصه، ويحدث ذلك بواسطة المقدرة الفذة لحبيبات سبائك النيكل والمغنسيوم على تبديل لونها عند تعرضها لفرق جهد كهربائي من الحالة الشفافة إلى الحالة العاكسة والعكس.



● شكل (٥) رسم تخطيطي لنموذج سطح زجاجي شفاف جُهز بتقنية تغيير اللون.



تعد تقنية الإلكترونيات المطبوعة تقنية حديثة، وهي عبارة عن طباعة مكونات الدوائر الإلكترونية كالترانزستورات على أوساط عادية، كالورق، والبلاستيك، والقماش باستخدام أحبار إلكترونية خاصة مركبة من أشباه موصلات عضوية وغير عضوية، وموصلات فلزية، ومواد متناهية الصغر (نانوية).

تمتاز هذه التقنية بانخفاض تكلفتها وسرعة إنتاجها، وبذلك سيكون لها دور كبير في تغيير اقتصاديات صناعة الإلكترونيات وازدهارها وابتكار أنواع جديدة من المنتجات.

يعتقد معظم العاملين في الصناعة الإلكترونية أن عصر مايسمى بالإلكترونيات المطبوعة مازال مبكراً، وأن المنتجات المصنعة بتقنيتها لن ترى النور في الأسواق في الوقت الحالي، وأنها ستحتاج إلى عدد من السنوات لإثبات كفاءتها، فهي إلى عهد قريب كانت متواضعة التصميم مقارنة بالمنتجات المصنعة بواسطة تقنية السليكون، مثل: الدوائر المتكاملة، وشاشات العرض. ومع أنه في الماضي القريب كانت الاستفادة منها لاتتعدى طباعة دوائر كهربائية ضعيفة ولاتعمر طويلاً، إلا أن كل ذلك قد تغير الآن وتحول التشاؤم إلى تفاؤل حتى مع تدني الأداء، فقد خرجت التقنية من معامل الأبحاث إلى مستوى تسويقي تجاري لبعض التطبيقات. فمثلاً أنتجت إحدى الشركات الألمانية بواسطة تقنية الطباعة الإلكترونية بطاقات هوية تحتوي على ذاكرة إلكترونية يصل مقدارها ١٦ بت بإمكانها حفظ وتسجيل المعلومات. وهذه البطاقة المطبوعة عبارة عن مكونة إلكترونية لها مكثف مصنوع من حبر مكون من بوليمرات موصلة كهربائياً. كما ستبدأ شركة ألمانية أخرى تسويق أولى بطاقات الهوية ذات الذبذبة الراديوية (Radio Frequency Identification Card- RFID) المصنوعة بواسطة الطباعة الإلكترونية، وذلك لاستخدامها لتعريف المنتجات الأصلية. وتتركب هذه البطاقة من مئات الترانزستورات العضوية وذاكرة قراءة فقط (ROM) مقدارها ٨ بت. ورغم قلة المعلومات التي يمكن للمنتجين التعامل معها إلا أن ذلك كاف للتطبيقات العملية والتجارية. كما أن هذين المنتجين لهما خصائص تميزهما عن المنتجات الشبيهة والمصنعة بطريقة تقليدية تتمثل في: صعوبة تزويرها أو نسخها مقارنة بالباركود، إضافة إلى سهولة إنتاجها وقلة تكلفتها.

وكما أحدثت تقنية أشباه الموصلات نقلة نوعية وثورة تسويقية في عالم الإلكترونيات قبل أكثر من ٥٠ عاماً، فإن ثورة الإلكترونيات المطبوعة – بفضل الله ثم بفضل تقنية المواد الذكية والمركبة من البوليمرات الموصلة والجزيئات النانوية – سوف تحدث تأثيراً مماثلاً نتيجة للتطبيقات المختلفة المحتملة، والتي يمكن الاستفادة منها على نطاق واسع قد لا تحققه التقنية الحالية. وحسب ماورد في أحد التقارير الصادرة من أحد مراكز الدراسات التسويقية لتقنية النانو (Nano markets) فإن سوق الإلكترونيات المطبوعة باستخدام تقنية النانو سوف يحقق أرباحاً ومكاسب تجارية تتجاوز ٧ مليارات دولار أمريكي بحلول عام ٢٠١٠م، نتيجة للطلب الشديد على هذه التقنية. كذلك ارتفع الإنتاج العالمي للأجهزة الإلكترونية إلى أكثر من ٥٪ في عام ٢٠٠٥م، ليصل حجم سوقها إلى ١١,٥ مليار دولار. إضافة إلى أن زيادة الإنتاج لتقنية الإلكترونيات المطبوعة سيحدث نقلة نوعية كبرى وصدى واسع، مثل تلك التي أحدثها اختراع الترانزستور، بل قد يكون أكبر من الصدى والتأثير الذي أحدثه سوق الرقائق الإلكترونية المصنوعة من السليكون.

ويتوقع – حسب هذا التقرير – أن ترتفع مبيعات الأحبار الخاصة والمعدة من مركبات متناهية الصغر والشرائح المرنة المستخدمة في طباعة الإلكترونيات إلى حدود ملياري دولار أمريكي بحلول عام ٢٠١٠م، وسيقفز إلى حدود ٩ مليارات دولار أمريكي بحلول عام ٢٠١٣م.

ومن المتوقع أيضاً أن تفتح تقنية الالكترونيات القابلة للطباعة والمصنوعة من بوليمرات موصلة ومركبات فلزية نانوية المجال لصناعة وإنتاج العديد من المنتجات الإلكترونية والتي لا يمكن إنتاجها بطرق الطباعة المتوفرة اليوم. فعلى سبيل المثال: سوف يحدث إنتاج شريحة بذاكرة حجمها ١ جيجابايت مطبوعة على قطعة بلاستيكية مرنة بحجم طابع البريد – لا تتجاوز قيمتها ربع ريال – ثورة في عالم التغليف والتسويق والألعاب وغيرها. أما لوحات الإعلانات عند الإشارات فلن تحتاج إلى عمال لتغييرها من فترة إلى أخرى،

حيث سيتم التحكم بها عن بعد وبإشارات لاسلكية لتغيير محتوياتها.

مع هذه التقنية الحديثة، ستصبح عبارة " استخدم هذا المنتج قبل" التقليدية والتي تشير إلى تاريخ الانتهاء على الأدوية أو الأغذية والمشروبات جزءاً من الماضي حيث أن الأدوية والمنتجات الغذائية الاستهلاكية سوف تحمل لواصق إلكترونية تشير إلى تاريخ انتهاء المنتج حسب درجة حرارة ظروف تخزينه، بل إن بعض هذه اللواصق الإلكترونية سيكون بقدرتها الإشارة إلى مدى صلاحية المنتج للاستهلاك الآدمي بدون فتح العلبة وتذوق أو شم محتوياتها.

كذلك فإن طابعات الحبر النفّاث سوف تحل محل المعالجة المعقدة بالنحت الضوئي ذات الكلفة العالية لإنتاج الدوائر الكهربائية. وقد لا تنافس البوليمرات الشبه موصلة مادة السليكون في سرعتها ومتانتها في الدوائر الإلكترونية لكنها بالتأكيد ستكون المرشح الأول للتطبيقات التي يكون فيها انخفاض التكلفة والمرونة مطلبين أساسيين كالشاشات الكبيرة على سبيل المثال.

ولادة تقنية الإلكترونات المطبوعة

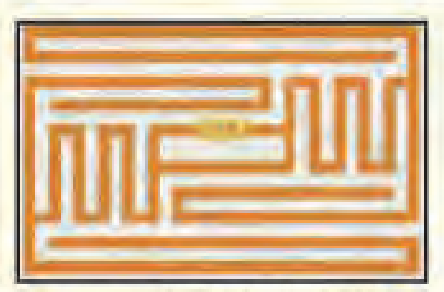
لا شك أن أحد أسباب ازدهار ونمو التقنية كما تعرفها اليوم هو اكتشاف البوليمرات أو البلاستيك، الذي يدخل في صناعة معظم الأشياء التي تستخدمها في حياتنا اليومية أو في تصنيع أحد أجزائها، فهو أحد أكثر المواد استخداماً في العصر الحديث. ورغم أن مادة البلاستيك معروفة بأنها عازلة للكهرباء وغير موصلة كهربائياً- تغلف أسلاك الكهرباء النحاسية بها لمنع الصدمات الكهربائية- إلا أن العلماء اكتشفوا نوعاً جديداً من البلاستيك - يطلق عليه البوليمرات الموصلة (Conducting Polymers) - له قدرة على توصيل الكهرباء ويمتاز بخصائص كهربائية فريدة. ففي سبعينات القرن الماضي - نتيجة للتعاون البحثي البناء بين العالم الياباني **هيدكي شيراكاوا** من معهد طوكيو للتقنية والعالمين الأمريكيين **آلن ماكديرميد** و**آلن هيغر** من جامعة بنسلفانيا - تم تحسين التوصيلية الكهربائية لبعض البوليمرات ذات السلاسل الطويلة (Conjugated Polymers)، بإضافة بعض الشوائب إليها للحصول على مواد موصلة أو شبه موصلة. وقد حصل الفريق البحثي على جائزة نوبل في الكيمياء عام ٢٠٠٠م، لتطويرهم مادة البولي أستيلين (Polyacetylene) الموصلة عام ١٩٧٧م. وقد تم استخدام البوليمرات الموصلة في العديد من التطبيقات كدروع وقاية من الموجات الكهرومغناطيسية للدوائر الالكترونية، وكمانع للتآكل، وكطلاء ماص لموجات الميكرويف للتخفي ضد الرادار، ولكنها الآن أصبحت أحد المكونات الرئيسة لتقنية الإلكترونيات المطبوعة.

تطبيقات الإلكترونيات المطبوعة

ليس هناك حدود لتطبيقات تقنية الإلكترونيات المطبوعة، حيث أنه من الممكن استخدامها في الآتي :-

● بطاقات تعريف ذات ذبذبة راديوية

تستخدم تقنية التعريف بالذبذبات الراديوية (RFID) الازدواج الكهرومغناطيسي أو الكهرباء الساكنة في جزء الذبذبة الراديوية في الطيف الكهرومغناطيسي لتمييز جسم ما استثنائياً. وقد ازداد استخدام هذه التقنية - لكن ليس بصورة واسعة نظراً لتكلفتها العالية- في العديد من التطبيقات الصناعية والتجارية كبديل للباركود، لأنها لا تتطلب مسحاً مباشراً أو نقطة اتصال، بل يمكن



● بطاقة تعريف مطبوعة ذات تردد راديوي.

استقبال إشارتها لاسلكياً، حيث أنها تتكون من هوائي صغير مربوط بشريحة صغيرة تخزن معلومات عن المنتج. كما أنها لا تحتاج إلى مصدر طاقة داخلي، فبمجرد وجود تيار كهربائي حولها تبدأ بإرسال محتوياتها المبرمجة إلى نقطة استقبال لاسلكية تقوم بالتقاط تلك المعلومات ومعالجتها.

وباستخدام تقنية الإلكترونيات المطبوعة سيكون بالإمكان وضع بطاقات التعريف ذات الذبذبة الراديوية على أي منتج تقريبا -لرخصها- لمنع تزوير المنتجات والحد من الغش التجاري، أو للتأكد من المخزون عند إجراء الجرد. كما أن هذه البطاقات ستسهل من عملية التعرف على حقائب المسافرين في حال فقدانها أو سرقتها. فضلاً عن ذلك فإن استخدام هذه البطاقات على الملابس - يوماً ما - سيسهل مهمة ربة المنزل، حيث ستقوم بطاقة التعريف بنقل المعلومات اللازمة بنوع الغسيل المطلوب ونوع النسيج إلى الغسالة الذكية التي ستكون مبرمجة على استقبال إشارة البطاقة واختيار الوضعية المناسبة للغسيل.

● شاشات عرض عضوية

من المتوقع -قريباً- مشاهدة البرامج التلفزيونية على شاشات ملونة عالية الوضوح بسماكة الورق العادي، وبثمن يقل كثيراً عما تدفعه مقابل أجهزة العرض التقليدية. وسيتمكن الباحثون من استخدام



● نموذج تجريبي لشاشات عرض مرنة مطبوعة.

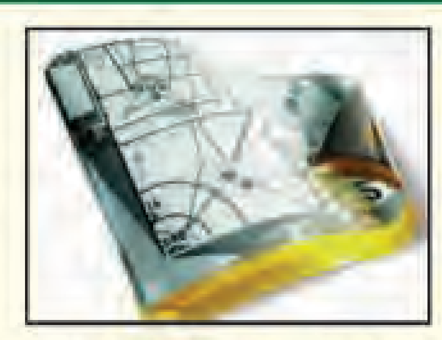
هذه الشاشات العضوية كملصقات قابلة للطي واللف، لعرض نتائج أبحاثهم العلمية، ولكن هذه المرة سيكون بإمكانهم عرض صور متحركة أو أفلام، أو تغيير الخلفية متى شاءوا. وتتميز هذه الشاشات المرنة أنه يمكن وضعها على أي سطح حتى ولو كان منحنياً، كما يمكن - لرخص ثمنها - أن تستخدم لمرة واحدة، ولا تستهلك سوى مقدار ضئيل من الطاقة.

● صحف إلكترونية على ورق إلكتروني

هل لديك فكرة عن صحف المستقبل؟ هذا حلم آخر على وشك أن يكون حقيقة. هل تخيلت يوماً جريدتك المفضلة تتكون من شاشة رقمية رخيصة الثمن قابلة للطي وخفيفة الوزن تستطيع حملها في جيبك وتتنقل بها؟ ليس هذا فقط بل سيكون بالإمكان توصيلها بوصلة لاسلكية، وتقوم بتحديث آخر الأخبار والتحقيقات الصحفية، بالإضافة إلى أسعار الأسهم المحلية والعالمية كما لو كانت موقعاً افتراضياً على شبكة الإنترنت. وستكون هذه الصحف الإلكترونية مطبوعة على



● صورة توقعية لصحف المستقبل الإلكترونية.



● نموذج تخيلي لخرائط نظم المعلومات الجغرافية المطبوعة.

ورق إلكتروني، ومع مرور الوقت ستصبح بديلاً حقيقياً للصحف المطبوعة، والتي ستصبح علماً من الماضي. ويعرف الورق الإلكتروني على أنه: تقنية عرض مكونة من صفحة رقيقة من البلاستيك الشفاف بسمك مليمتر واحد مطبوع عليها شبكة من المربعات الدقيقة مصممة لمحاكاة الورق المطبوع بالحبر العادي، ويمتاز بأنه لا يحتاج إلى خلفية ضوئية لإظهار نقاط الشاشة، بل يشابه الورق تماماً في أنه يعكس الضوء لإظهار الحروف والأشكال، وله القدرة على حفظ البيانات والرسوم بدون استهلاك للطاقة. وسوف يستخدم الورق الإلكتروني لإنتاج الكتب الإلكترونية الرقمية، حيث سيتكون الكتاب من ورقة إلكترونية واحدة تظهر على الغلاف، ومن ثم يتم تغيير محتويات الصفحة لتصفح بقية الصفحات بمجرد لمس زاوية الورقة الإلكترونية. يستخدم الورق الإلكتروني



● كتاب إلكتروني مطبوع مكون من صفحة واحدة.

تقنية الأحبار الإلكترونية لإظهار البيانات والرسومات. أما الحبر الإلكتروني فهو مثل الحبر العادي يمكن استخدامه على نفس الأوساط التي يستخدم عليها الحبر العادي كالورق والبلاستيك والقماش، ولكنه يمتاز عن الحبر العادي بأنه يمكن توصيله بدائرة إلكترونية والتحكم به بواسطة الحاسب الآلي، وبالتالي يمكن تغيير النصوص والأشكال المعروضة بواسطة الحبر الإلكتروني عدة مرات، مثل ما يحدث على شاشة الحاسب الآلي. وعند ربط الحبر الإلكتروني بشبكة سلكية أو لاسلكية يصبح بالإمكان تجديد المعلومات وتغييرها حسب الحاجة. ويتكون الحبر الإلكتروني من سائل يحتوي على ملايين الكبسولات الدقيقة والمملوءة بجسيمات نانوية بيضاء موجبة الشحنة وجسيمات نانوية سوداء سالبة الشحنة، وعند تسليط جهد سالب ترتفع الجسيمات البيضاء إلى أعلى الكبسولة الدقيقة، وبالتالي تظهر المنطقة للمشاهد كنقطة بيضاء، بينما تنخفض الجسيمات السوداء إلى الأسفل وتظل مخفية. ويحدث العكس عند تسليط فرق جهد موجب، حيث ترتفع الجسيمات السوداء إلى أعلى الكبسولة الدقيقة مظهرة نقطة سوداء للمشاهد، وتختفي الجسيمات البيضاء. ويعمل التباين ما بين الأبيض والأسود نتيجة لاختلاف فرق الجهد على عرض المحتويات المختلفة التي ترسلها وحدة المعالجة الرئيسة للحاسب أو الجهاز الذي تعمل معه الشاشة، ومن ثم تقوم هذه الشرائح الإلكترونية الدقيقة بدور أشبه بالدور الذي يقوم به الحبر عند الكتابة به على الورق، ومن هنا جاءت التسمية بالحبر الإلكتروني. ويتحول الحبر الإلكتروني إلى اللون الأسود عند تمرير تيار كهربائي معلوم الشدة والاتجاه، ويعود لحالته الأولى مع زوال المؤثر الكهربائي، وبالتحكم في عدد الكريات



• بطاقة اعتماد مستقبلية تستخدم الكترونيات مطبوعة.

السوداء والبيضاء، وفي توزيعهما معاً يتم التحكم في عرض البيئات والنصوص والصور بشكل آلي.

• بطاقات إئتمانية ذكية

تتميز هذه البطاقات بوجود لاصق إلكتروني مطبوع بواسطة حبر شبه موصل محضر بتقنية النانو يشير إلى الحد الإئتماني لبطاقة الصراف الآلي أو إلى الرصيد المتبقي في الحساب عند استخدام تلك البطاقة، كما يمكن برمجة البطاقة لإيقاف استخدامها في حالة السرقة أو الضياع.

• بطاريات مطبوعة

تتكون البطاريات المطبوعة من خلايا جافة مطبوعة بحبر موصل خاص يبلغ سمكها ٠,٥ مليليمتر، وبإمكانها توليد طاقة بقوة ١,٥ فولت، ويمكن زيادتها بربط العديد منها. ويستخدم الحبر الإلكتروني الخاص لطباعة هذه البطاريات مركبات الخارصين لتكوين القطب السالب، وثاني أكسيد المغنيسيوم لتكوين القطب الموجب للبطارية، يفصل بينهما طبقة من مادة كيميائية خاصة. ونظراً لإمكانية طباعة البطارية على الورق، فإنها ستكون مرنة للغاية ، وبما أنها لن تكون داخل مغلف أو علبة فإن حجم وشكل البطارية يمكن تصميمه ليتناسب مع التطبيق المراد استخدامها فيه. وهناك ميزة إضافية لهذه البطاريات المطبوعة، وهي أنها آمنة فهي غير قابلة للاشتعال، كما أنها غير سامة.



• نموذج تجريبي لبطارية مطبوعة (١,٥ فولت).

• دوائر إلكترونية و مجسات كيميائية

يمكن -باستخدام تقنية المواد الذكية ذات الوظائف المتعددة والتي لها قابلية الاستشعار البيئي التي حولها والاستجابة الفورية للمحفز الخارجي- تركيب أحبار خاصة مكونة من البوليمرات الموصلة كهربائياً وأنابيب الكربون متناهية الصغر لإنتاج مجسات كيميائية تستخدم لأغراض الكشف والاستشعار. وتمتاز هذه المجسات بأن لها حساسية استشعار عالية في درجة حرارة الغرفة العادية، كما تتميز بأنها رخيصة الثمن لسهولة تصنيعها. ويوضح شكل (١) طابعة ملونة تقوم بطباعة مجس كيميائي للكشف عن غاز الإيثان باستخدام حبر مصنوع من مواد ذكية، وذلك ضمن مشروع بحثي شارك به كاتب المقال، حيث تم تصنيع حبر إلكتروني من مادة البولي أنالين الموصلة و أنابيب الكربون متناهية الصغر، واستخدامه مع طابعة ملونة رخيصة الثمن (HP Deskjet 610)، بديلاً عن الحبر العادي لطباعة حساسات (مجسات) كيميائية قادرة على استشعار غاز الإيثان وتراكيز مختلفة. وقد حصل الباحثون على نتائج مدهشة ومشجعة، ولهذا يتوقع في المستقبل القريب أن تكون لتقنية الطباعة الإلكترونية القدرة على طباعة دوائر كهربائية متكاملة باستخدام هذه الأحبار الخاصة لإنتاج أجهزة إلكترونية (كالألعاب، ومجسات إلكترونية مختلفة التطبيق، وبطاريات ورقية، وعضلات صناعية..الخ) مباشرة من طابعة ملونة لا تتجاوز قيمتها الـ ١٠٠ ريال.



• شكل (١) طابعة ملونة ذات مجس كيميائي للكشف عن غاز الإيثان .



• حاسبة إلكترونية بحجم اليد.

خاتمة

يمكن القول أن ثورة تقنية قادمة سوف تجعل من تقنية السليكون ضرباً من الماضي، حيث ستحل محلها المنتجات والتقنيات الإلكترونية المبنية على أساس الإلكترونيات العضوية. وسوف تلعب الإلكترونيات العضوية دوراً مهماً في ظهور منتجات تقنية ذكية زهيدة الثمن في حياتنا اليومية، كانت تعد ضرباً من الخيال والأحلام إلا أنها باتت حقيقة مؤكدة تتسارع خطواتها نحو واقعنا المعاصر بسرعة غير اعتيادية، مما يبشر بمستقبل تقني مزدهر.

تطبيقات النانو في العلاج

د.هشام بن عبد العزيز الهدلق



كان للاهتمام الكبير الذي ظهر في السنوات الأخيرة بأبحاث وتطبيقات التقنيات متناهية الصغر (Nanotechnology)، والسعي الحثيث لتحويل نتائجها إلى منتجات يمكن الاستفادة منها وتذليل بعض الصعوبات التي تواجه الإنسان في حياته اليومية، كان لهذا الاهتمام دور كبير في توقع كثير من العلماء والباحثين أن يكون المجال الطبي من أكبر المستفيدين من ثورة أبحاث تقنيات النانو في السنوات الأخيرة.

وتتلخص طبيعة هذه الأبحاث في التركيز على التطبيقات الطبية في مجالين أساسيين هما: التشخيص الطبي، والعلاج. يتناول هذا المقال التطبيقات الطبية لتقنيات النانو في تحسين طرق إيصال الدواء وتعافي المريض بشكل سريع وبمضاعفات جانبية أقل.

طرق إيصال الدواء الحالية

تأخذ طرق إيصال الدواء أهمية طبية في كونها تؤثر بشكل كبير في علاج المرض بطريقة فعالة وبتأثيرات جانبية بسيطة قدر الإمكان على جسم المريض. وتتنوع طرق إيصال الدواء المستخدمة حالياً في المستشفيات والمراكز الصحية إلى ما يلي:

- عن طريق الفم (Orally).
- عن طريق الحقن (By Injection).
- عن طريق الاستنشاق (Inhalation).
- عن طريق أجهزة تزرع داخل الجسم (Implantable Devices) وغيرها من الطرق.

ولهذه الطرق المختلفة سلبياتها ومشكلاتها التي تعيق معالجة المرض وتقلل من فرص نجاح العلاج، وتؤدي إلى تأثيرات جانبية على جسم الإنسان، فيصعب التحكم في إيصال العلاج إلى مكان محدد من الجسم لعدة أسباب منفردة أو مجتمعة من أهمها:

١- عدم قدرة الدواء على اختراق حاجز حيوي (في الدماغ على سبيل المثال).

٢- صعوبة الوصول إلى مكان العضو أو النسيج داخل جسم الإنسان.

٣- ارتفاع سمية (Toxicity) الدواء.

٤- ضرورة التخلص من المضاعفات الجانبية السلبية للعلاج، على سبيل المثال: ثبت أن العلاج الكيميائي في حالة أورام السرطان له تأثير سلبي على الأنسجة السليمة المجاورة.

تشكل طرق إيصال العلاج الإشعاعي لأورام السرطان وتلافي التأثير على الأنسجة السليمة التي تقع بالقرب منها مجالاً مهماً لتحسين طرق إيصال العلاج؛ وذلك لخطورة تأثير الإشعاع عندما يصيب الأنسجة السليمة من جسم الإنسان. ولذا يعول كثير من العلماء والعاملين في أبحاث طرق إيصال العلاج على أن تساهم تقنيات النانو في تحسين هذه الطرق والتخلص من بعض التأثيرات الجانبية المرافقة للطرق الحالية المستخدمة في العلاج.

خصائص الجسيمات والأنظمة متناهية الصغر

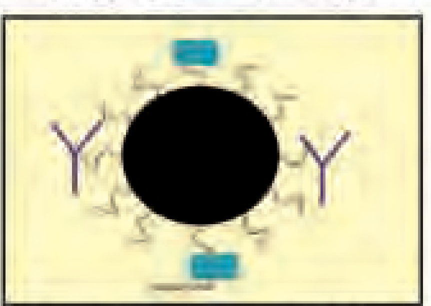
تتميز الجسيمات والأنظمة متناهية الصغر (Nano Particles and Nanosystems) بصغر حجمها (في حدود مقياس النانو)، وبظهور تغير كبير في الخواص الكيميائية والفيزيائية المألوفة للمادة عند هذا الحجم. من جانب آخر تتركب الأنظمة الحيوية من خلايا (Cells) صغيرة الحجم نسبياً تقاس بالميكرومتر (10^{-6} متر)، فضلاً عن ذلك فإن الخلايا نفسها تحتوي على أجسام ومركبات حيوية تقاس بمقياس النانومتر والميكرومتر، وعليه فإن استخدام الجسيمات متناهية الصغر في الأنظمة الحيوية يشكّل فرصة كبيرة للتطبيقات الطبية، حيث يساهم صغر حجمها في تخطيها للحواجز الحيوية. ويمكن الاستفادة من هذه الخصائص على مستوى مقياس النانو في تحسين علاج الأمراض، وذلك بأن يتم ربط الدواء بهذه الجسيمات، أو استخدام هذه الجسيمات كحامل (Carrier) يحمل الدواء داخله لينطلق عند وصوله إلى المكان المحدد، ومن ثمّ يتخلص الجسم منه عند تحقق العلاج واستجابة العضو أو النسيج المصاب للعلاج.

أظهرت الأبحاث المنشورة حديثاً في التطبيقات الطبية لتقنيات النانو إمكانية الجسيمات والأنظمة متناهية الصغر على حمل وتوجيه العلاج إلى مناطق محددة من جسم الإنسان والتحكم في جرعات العلاج على فترات زمنية مختلفة، والقدرة على تتبع استجابة العضو أو النسيج المصاب للعلاج أثناء فترة العلاج بمضاعفات جانبية أقل، مما يشكل فرصة كبيرة لتحسين طرق إيصال العلاج. ويعد اتصاف الأنظمة والجسيمات متناهية الصغر بصغر مقاسها وتغير خصائصها عند هذا الحجم ميزة كبيرة يعطيها القدرة على الحركة والانتقال خلال الشعيرات والأغشية الحيوية، وبالتالي القدرة على إيصال الدواء داخل الأنسجة الحيوية.

إيصال الدواء بتقنية النانو

تحمل تطبيقات تقنية النانو آمالاً كبيرة لتحسين طرق إيصال الدواء بشكل عام، وعلى وجه الخصوص في حالة أمراض السرطان (Cancer)، حيث ساهمت هذه التقنية في التمكن من قتل الخلايا السرطانية دون التأثير على الخلايا السليمة المجاورة لها.

يوضح شكل (١)، الجسيمات والأنظمة متناهية الصغر متعددة الوظائف (Multifunctional Nanoparticles Model) كأبرز النماذج التي ستساهم -بإذن الله- بعد تطويرها في تحسين طرق إيصال علاج أمراض السرطان والشفاء منها. ويتميز النموذج بتركيبته التي تحوي العلاج بالداخل، كما يتميز بارتباطه



● شكل (١) جسيم متناهي الصغر يحمل العلاج من الداخل والمادة المثبتة والمركبات محددة الهدف من الخارج.

بمادة متباينة (Contrast Agent) حساسة لبعض أجهزة التشخيص، مثل: جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI)، ومركبات محددة الهدف (Targeting-Specific Molecules). وبهذه التركيبة يمكن تتبع الجسيم الذي يحوي العلاج والتأكد من وصوله إلى المنطقة المحلية المراد علاجها من جسم الإنسان، وكذلك مراقبة استجابة النسيج المصاب للعلاج عن طريق المادة المتباينة. وبهذا يتم تفادي التأثير على الأنسجة السليمة والوصول إلى المكان المحدد ومراقبة تطور العلاج في آن واحد.

من المعلوم أن من التحديات الأساسية في تشخيص وعلاج الأورام السرطانية في الوقت الحالي القدرة على تعيين حدود المنطقة المصابة وإيصال العلاج لها، ولذا فإن طريقة إيصال العلاج المستهدفة (Targeted Drug Delivery) ستساهم في التغلب على هذه العوائق والتخفيف من الآثار الجانبية الخطيرة للعلاج الكيميائي، وتشير الأبحاث القائمة في مجال استخدام تقنيات النانو في طرق إيصال العلاج إلى العضو المصاب، بأن طريقة إيصال العلاج إلى منطقة الأورام السرطانية سيكون لها دور كبير في التأثير على طرق العلاج القائمة حاليا وتحسينها.

تأخذ الجسيمات متناهية الصغر أشكالاً مختلفة، ويمكن أن يرتبط بها الدواء أو أن تحويه داخلها في تجويف معاط بغشاء يتميز بمساحة تمكن المركب من الخروج عند إعطاء الإشارة، وتتميز هذه الجسيمات بصغر حجمها وقدرتها على العبور إلى الخلايا والأنظمة الحيوية، ويمكن في حالة استخدام المواد القابلة للتحلل (Biodegradable Materials) في تحضير هذه الجسيمات استمرار إيصال العلاج إلى النسيج المستهدف خلال فترة زمنية محددة، وتتميز الجسيمات متناهية الصغر بقدرتها على الانتقال خلال بعض الحواجز الحيوية، مثل حاجز الدم الدماغي (Blood-Brain Barrier)، مما يفتح المجال أمام تطبيقات مفيدة في إيصال الدواء إلى مناطق مصابة في الدماغ.

تتعدد الأبحاث المتعلقة بطرق إيصال العلاج المبنية على تقنيات النانو، حيث يعتمد بعضها على أنابيب ذات مقياس صغير جداً لها القدرة على الحركة، ويمكن توجيهها إلى المنطقة المراد علاجها. أما البعض الآخر فيعتمد على أنظمة ذكية ذات حجم صغير جدا يمكن زراعتها داخل الجسم ولها القدرة على التحكم في جرعات الدواء والوقت المناسب لإيصاله. كما يمكن التطرق إلى بعض الأمثلة في مرحلة البحث والتطوير من دون حصر جميع طرق الإيصال، مع ملاحظة أن بعضها لازال في مرحلة البحث داخل المختبرات، خارج الأنظمة الحيوية، والبعض الآخر انتقل إلى مرحلة التجارب على الحيوانات للتأكد من فعاليتها أثناء التجربة على أنظمة حيوية مختلفة.

● أنابيب الكربون متناهية الصغر

تبرز أنابيب الكربون متناهية الصغر (Carbon Nanotubes) كمواد مهمة في أبحاث تقنيات النانو، وهي تأخذ أشكالاً تركيبية متعددة ذات خصائص متميزة تؤهلها لأن تكون مثالية في تطبيقات هندسية وصناعية.

أخذت هذه الأنابيب -على مقياس النانو- اهتماماً كبيراً من قبل الباحثين المهتمين بالتطبيقات الحيوية والطبية، ودعت الحاجة إلى تعديلها كيميائياً لكي تكون قابلة للذوبان في السوائل حتى يمكن الاستفادة منها في التعامل مع الأنظمة الحيوية، لأنها في حالتها الاعتيادية قبل المعالجة غير قابلة للذوبان في الماء، كما يمكن الاستفادة من المركبات الكيميائية العضوية المتصلة بجدران أنابيب الكربون في الربط مع المركبات الحيوية المختلفة. وقد قدم كوستارلوس وزملاؤه طريقة المعالجة

الكيميائية لأنابيب الكربون متناهية الصغر تعتمد على التوظيف العضوي إما عن طريق الأكسدة باستخدام الأحماض القوية أو تفاعل مركبات كيميائية مختلفة مع الجدران الخارجية لأنابيب الكربون شكل (٢)

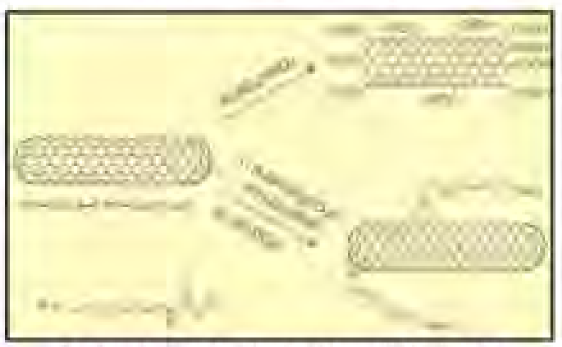
قام عدد من الباحثين باستكشاف التطبيقات الحيوية الممكنة لأنابيب الكربون المعدلة في مجال إيصال العلاج والمركبات الحيوية، وقد أظهرت الأبحاث الحديثة إمكانية استخدام أنابيب الكربون بربطها مع مركبات ببتيدية (Peptide) لتعريفها بنظام المناعة في الجسم، وبالتالي استخدامها في إيصال اللقاح مما يساهم في رفع المناعة مقارنة بطرق إيصال اللقاح التقليدية. كما يمكن استخدام أنابيب الكربون المعدلة في إيصال الأحماض النووية إلى الخلايا ونقل المورثات (Genes)، حيث تتميز الأنابيب المعدلة بقدرتها على تكوين تجمعات معقدة مستقرة مع المركبات الحيوية مما يساعد في رفع مستوى تعبير المورثات (Gene Expression)، ويفتح مجالاً كبيراً للتطبيقات المتعلقة بالعلاج المبني على المورثات.

● جسيمات نانوية غير عضوية

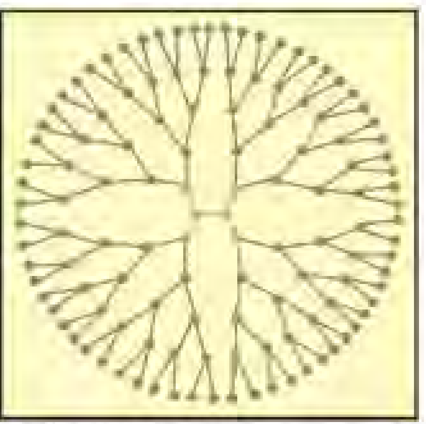
يتوقع أن تساهم الجسيمات النانوية غير العضوية (Ceramic or Inorganic Nanoparticles) في تحسين طرق إيصال الدواء، لسهولة تحضيرها والتحكم في شكلها وحجمها وتكيفها مع درجة الحرارة المحيطة بها، وقدرتها على حماية المركبات الحيوية المرتبطة بها من التغيرات التي يمكن أن يسببها تغير الرقم الهيدروجيني (pH)، كما أن هذه الجسيمات متوافقة مع الأنظمة الحيوية ولها سمية ضعيفة جداً، ويمكن تعديل السطح الخارجي بمجموعات وظيفية مختلفة، مما يسمح بربطها مع مركبات حيوية تعمل على توصيلها إلى منطقة العلاج المحلية. وقد أظهرت بعض الدراسات الحديثة إمكانية استخدام جسيمات السليكا (Silica) متناهية الصغر في احتواء عقار مضاد للسرطان قابل للتفاعل مع الضوء يمكن تفعيله عند وصوله لمكان الورم عن طريق تسليط الضوء بطول موجي محدد، مما يقلل الآثار السلبية للعقار على الأنسجة السليمة المجاورة.

● المركبات العضوية

تلعب المركبات مثل المتشجرات (Dendrimers) والحويصلات الدهنية (Liposomes) الحيوية دورا كبيرا في توصيل العلاج. تتميز هذه المركبات والأجسام بصلاحيتها لأن تعمل على توصيل العلاج وذلك



● شكل (٢) أنابيب الكربون متناهية الصغر قبل المعالجة (إلى اليسار) وبعد المعالجة الكيميائية بطريقتين مختلفتين (إلى اليمين).



● شكل (٣) رسم توضيحي بين التشعبات في التشجرات.

لأن حجمها في حدود مقياس النانو ومتوافقة مع الأنظمة الحيوية.

تتكون التشجرات، شكل (٣)، من سلسلة من التشعبات حول هيكل داخلي ويمكن تحضيرها ابتداءً من الهيكل الأساسي ومن ثمّ التشعبات الفردية أو بالعكس، ولهذه المركبات خصائص فريدة متعلقة بشكلها والقدرة على بناء النهايات الخارجية لتأدية وظائف معينة وربط المركبات بها، كما يمكن الاستفادة من تجويفها الداخلي لحمل الدواء المراد إيصاله إلى المنطقة المصابة، من جانب آخر تأخذ الحويصلات الدهنية الشكل الكروي، وتتكون من غشاء ثنائي الطبقة من مركبات فسفوليبيدية(Phospholipids) وهيكل داخلي، كما أنها تتميز بتركيبة لها القدرة على الذوبان في الماء والزيت في آن واحد. وبفضل هذه الميزة التي أودعها فيها الخالق فإنها يمكنها حمل المركبات الدوائية في الماء والزيت معاً لإيصال العلاج، ومن ثمّ إطلاقه بمعدل مناسب للعلاج. ويمكن تعديل سطح هذه الحويصلات بربطها بمركبات ذات خصائص مميزة، مما يساعد في انتقالها خلال الأوعية الدموية والوصول إلى المكان المراد إيصال الدواء إليه.

● المستحلبات متناهية الصغر

أظهرت دراسات حديثة أولية إمكانية استخدام المستحلبات متناهية الصغر (Nano Emulsions) كنظام متعدد الوظائف لإيصال العلاج ومتابعته. تتكون هذه الأنظمة من حبيبات من الزيت في الماء مرتبطة مع مركبات (DTPA) لها القدرة على الاتصال بأيونات فلزية محددة، ويتم تحميل الدواء داخل هذه الأنظمة بالإضافة إلى أيونات جالينيوم(Gd^{3+}) لتوفير خاصية المادة المتباينة للاستخدام مع جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي، وبالتالي يمكن تتبع مراحل علاج الورم والتخلص من الآثار الضارة للعلاج الكيميائي.

مستقبل إيصال الدواء بالنانو

لابد من التأكيد أن ما تم من أبحاث في مجال استخدام النانو تحمل وعوداً طبية في طرق إيصال الدواء، إلا أنها في مراحلها الأولية وتحتاج إلى وقت طويل حتى يتم التأكد من سلامتها وعدم إحداثها لمضاعفات جانبية في حال دخولها جسم الإنسان. ويمكن تلخيص الفوائد التي ستضيفها تقنيات النانو في تطوير طرق إيصال الدواء فيما يلي:-

١- القدرة على توجيه الدواء إلى المنطقة المصابة تحديداً.

٢- إيصال العلاج وإطلاقه حول المنطقة المصابة محلياً دون التأثير على الأنسجة السليمة القريبة منها.

٣- تقليل التسمم الناتج عن استخدام جرعات زائدة من الدواء دون الحاجة إلى ذلك.

٤- التحكم في عملية إطلاق العلاج على فترات زمنية محددة داخل جسم الإنسان.

٥- القدرة على الحركة وتجاوز الحواجز الحيوية.

٦- إمكانية متابعة مراحل العلاج ومدى استجابة المنطقة المصابة له.

٧- تقليل معاناة المرضى، والآلام المصاحبة لطرق إيصال الدواء.

٨- تقليل تكاليف الدواء والاستفادة من طرق العلاج الحالية المتوفرة بتكلفة أقل.

٩- إمكانية استخدام الدواء المتوفر حالياً بعد تحسين طرق إيصاله دون الحاجة إلى إنتاج أدوية جديدة.

من المتوقع ـ قريباً ـ أن تأخذ طرق إيصال الدواء باستخدام تقنيات النانو ـ بعد إثبات سلامة استخدامها في جسم الإنسان ـ حيزاً كبيراً من التطبيقات الطبية، وسيكون لها أثر ملاحظ في تحسين علاج المرضى وتعافيهم ـ بإذن الله ـ في وقت قصير بآثار سلبية قليلة. ويتوقع أن يكون لذلك مردود اقتصادي كبير حيث تشكل طرق إيصال الدواء ما نسبته ١٢٪ من السوق المرتبط بالأدوية والعلاج وتمثل طرق إيصال الدواء النسبة الكبيرة من التطبيقات الطبية لتقنيات النانو التي بدأت تظهر في مراحلها النهائية من التجربة، حيث يفوق تطورها تطور التطبيقات الأخرى لتقنيات النانو المتعلقة بالتشخيص، ويتوقع أن تنتشر بشكل أكبر في السنوات الخمس القادمة، وأن يكون لها تأثيراً كبيراً في علاج الأمراض الخطرة مثل السرطان.

المراجع:

1-**David H Geho, Clinton D Jones, Emanuel F Petricoin and Lance A Liotta.** Nanoparticles: potential biomarker harvesters. Current Opinion in Chemical Biology. 2006; 10: 56 - 61.

2- **Nathaniel G. Portney1 and Mihrimah Ozkan.** **Nano-oncology:** drug delivery, imaging, and sensing. Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2006; 384: 620- 630.

3-**Rajni Sinha, Gloria J. Kim, Shuming Nie and Dong M. Shin.** Nanotechnology in cancer therapeutics: bioconjugated nanoparticles for drug delivery. Molecular Cancer Therapeutics. 2006: 5:19091917-.

4- **Mauro Ferrari.** Cancer Nanotechnology: Opportunities and Challenges. Nature Reviews/ Cancer. 2005 ; 5: 161171-.

5-**Samuel A. Wickline and Gregory M. Lanza.** Nanotechnology for Molecular Imaging and Targeted Therapy. Circulation. 2003; 107:10921095-.

6-**Salata OV.** Applications of nanoparticles in biology and medicine. Journal of Nanobiotechnology. 2004 ; 2:3.

7- **Sahoo SK, Labhasetwar V.** Nanotech approaches to drug delivery and imaging. Drug Discov Today. 2003 ; 8(24):111220-.

8-**David A LaVan, Terry McGuire and Robert Langer.** Small-scale systems for in vivo drug delivery. Nature biotechnology. 2003; 21. 1184 ?1191.

9- **Alberto Bianco, Kostas Kostarelos and Maurizio Prato.** Applications of carbon nanotubes in drug delivery. Current Opinion in Chemical Biology. 2005; 9: 674679-.

10- **T.C. Yih and M. Al-Fandi.** Engineered nanoparticles as precise drug delivery systems. Journal of Cellular Biochemistry. 2006: 97: 11841190-.

11- **Sandip Tiwari, Yi-Meng Tan and Mansoor Amiji.** Preparation and In Vitro Characterization of Multifunctional Nanoemulsions for Simultaneous MR Imaging and Targeted Drug Delivery. Journal of Biomedical Nanotechnology. 2006; 2:217224-.

12- Si-Shen Feng and Shu Chien: Chemotherapeutic engineering: Application and further development of chemical engineering principles for chemotherapy of cancer and other diseases. Chemical Engineering Science. 2003; 58: 4087 ? 4114.



تقنية النانو وصناعة الطاقة

د. إبراهيم بن محمود بابلي

تقدر منظمة الصحة العالمية عدد وفيات النساء والأطفال السنوية الناتجة عن تلوث الهواء داخل المنازل الناتج عن استخدام مصادر الطاقة البدائية - مثل الخشب وروث الماشية - في الطهي والتدفئة بأكثر من مليوني حالة. ولعل أحد أهم أسباب ارتفاع عدد الوفيات هذه هو عدم توفر مصادر طاقة كهربائية لأكثر من ربع سكان العالم، معظمهم يعيش في آسيا وأفريقيا وأمريكا اللاتينية. وعلى الرغم من التطور في عدد من مجالات الطاقة سواء في التوليد أو التوزيع أو في غيرها؛ فإن التوقعات تشير إلى قصور مستمر في توليد الطاقة بما يفي باحتياج السكان في العالم، حيث سيبقى أكثر من مليار نسمة دون كهرباء حتى عام ٢٠٣٠م.

وبالنظر إلى الطلب العالمي على الكهرباء، نجد أنه قد ازداد في الفترة ما بين عامي ١٩٨٠إلى ٢٠٠٣م بمعدل ٣٪ سنوياً، مرتفعاً من ٧٤١٧ مليار كيلووات/ ساعة إلى ١٣٩٣٤ مليار كيلووات/ ساعة، ومن المتوقع أن يستمر النمو السنوي في الطلب على الكهرباء بمعدل ٢,٤٪ سنوياً حتى عام ٢٠٣٠م، مدفوعاً بازدياد الطلب على الكهرباء في الدول النامية الكبرى مثل الهند والصين.

هذا وقد قدرت وكالة الطاقة الدولية الاستثمارات المطلوبة للبنى التحتية في مجال توليد الطاقة بمبلغ يزيد عن ستة عشر ألف مليار دولار أمريكي للفترة من عام ٢٠٠١م، وحتى عام ٢٠٣٠م، وسيحوز الاستثمار في توليد الكهرباء على نصيب الأسد من هذه الاستثمارات بمبالغ تزيد على عشرة آلاف مليار دولار أمريكي، ويذهب المبلغ المتبقي في استثمارات في مجال النفط والغاز.

وبالرغم من تلك الاستثمارات الهائلة، فإنه إن لم يصاحبها من توليد وتوصيل وترشيد وغيرها، فستكون النتيجة مخيبة للآمال. ويرى المجتمع العلمي أن هناك عدداً من التقنيات الحديثة والمتطورة التي يمكنها أن تساهم بشكل فعال في تطوير مجالات الطاقة المختلفة، من أهمها تقنية النانو (المتناهية في الصغر).

تقنية النانو في الطاقة

مع الاختلاف الجوهري في ماهية تقنية النانو عن غيرها من التقنيات المستخدمة في مجالات الطاقة المختلفة، إلا أن مساهمتها المتوقعة في السنوات المقبلة حتى عام ٢٠١٠م لن تتعدى تحسين كفاءة التقنيات المتوفرة حالياً والمستخدمة بشكل اقتصادي. ويتوقع أن تبدأ تقنية النانو في المساهمة في تطوير تقنيات جديدة في مجال الطاقة في الفترة بعد عام ٢٠١٠م خاصة ابتداء من عام ٢٠١٥م.

تنقسم مساهمة تقنية النانو في صناعة الطاقة الكهربائية حالياً إلى ثلاثة أقسام هي:

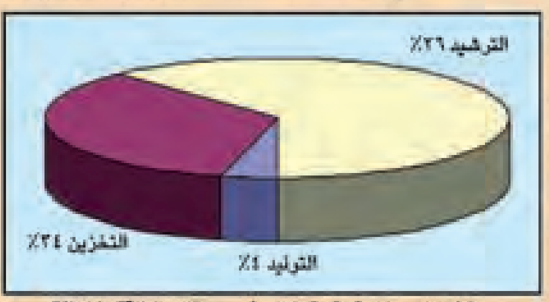
١- الترشيد: تدخل تقنية النانو في صناعات عديدة مثل تقنية العزل الحراري، والإضاءة، وخفض وزن السبائك المستخدمة في النقل، وتحسين كفاءة الاحتراق للوقود الحراري.

٢- التخزين: تدخل تقنية النانو في صناعات مثل بطاريات الليثيوم التي يمكن إعادة شحنها، وفي المواد المستخدمة في تخزين الهيدروجين، والمكثفات الفائقة.

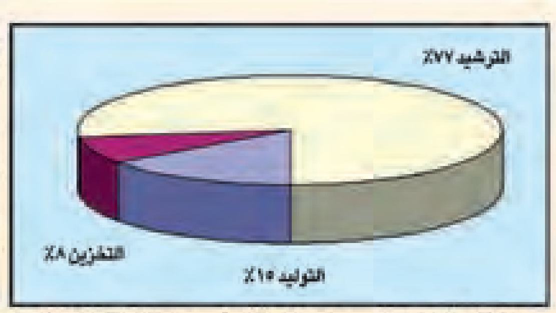
٣- التوليد: تدخل تقنية النانو في صناعة تحويل الطاقة بأشكالها المختلفة - مثل الطاقة الحرارية والشمسية- إلى كهرباء، ومثل تطبيقات خلايا الوقود الهيدروجينية، والأفلام الرقيقة والخلايا الكهروضوئية العضوية.

يوضح الشكل (١) حصص كل من الأقسام الثلاثة المذكورة أعلاه في سوق الطاقة لعام ٢٠٠٧م. ويلاحظ من الشكل المذكور أن الترشيد باستخدام تقنية النانو له حصة الأسد في صناعة الطاقة الكهربائية، في حين أن مساهمتها في صناعة توليد الكهرباء هي الأقل لعام ٢٠٠٧م.

وباستقراء توجهات سوق تقنية النانو في صناعة الطاقة الكهربائية يتوقع أن



● شكل (١) مساهمة تقنية النانو في مجالات الطاقة المختلفة.



● شكل (٢) توجهات سوق تقنية النانو في مجالات الطاقة المختلفة.

تكون حصص الأقسام الثلاثة المذكورة للعام ٢٠١٤ م حسب ماهو موضح في شكل (٢)، حيث يلاحظ أن حصة تقنية النانو سوف تنمو لكل من ترشيد الكهرباء وتوليدها، في حين أن حصة التخزين سوف تنخفض مقارنة بعام ٢٠٠٧م.

ويوضح شكل (٣) المعدل المتوقع لنمو إسهام تقنية النانو في صناعة الطاقة الكهربائية في المجالات الثلاثة الموضحة في الشكلين السابقين.

ويعزى النمو المطرد في إسهام تقنية النانو في صناعة توليد الكهرباء إلى التطوير الحاصل في خلايا الوقود من قبل شركات السيارات الكبرى في العالم مثل تويوتا وجنرال موتورز، والتي تخطط لطرح سيارات تعمل بخلايا الوقود بشكل كامل بعد عام ٢٠١٠م .

ويلاحظ القارئ أن التركيز فيما سبق كان على الطاقة الكهربائية بمختلف متعلقاتها، وذلك لأهمية الكهرباء المباشرة في مستوى حياة البشر وتأثير ذلك على النمو الاقتصادي خاصة في الدول الفقيرة. غير أن التركيز على الكهرباء يجب أن لا ينسينا إسهام تقنية النانو في الصناعات الأخرى ذات العلاقة بالطاقة، مثل صناعة المحفزات - المستخدمة في المصافي على سبيل المثال - والتي يقدر حجم سوقها لعام ٢٠٠٧ م بمبلغ يقارب ٢,٧٨ مليار دولار أمريكي، من مجمل مبلغ يقارب ٤,٧٣٤ مليار دولار أمريكي، وهو حجم سوق تقنية النانو المتعلقة بصناعة الطاقة بشكل عام للعام نفسه.

● شكل (٣) معدل إسهام نمو تقنية النانو في مجالات الطاقة المختلفة.

التطبيقات والتحديات

يتوقع أن تنمو صناعات تقنية النانو المتعلقة بالطاقة إلى مبلغ يقارب ٧,١٢ مليار دولار أمريكي في عام ٢٠١٢م.

وتورد القائمة التالية أمثلة لتطبيقات تقنية النانو التي وجدت طريقاً إلى صناعة الطاقة بمختلف مجالاتها، بما فيها الطاقة التقليدية والمتجددة:

١- صناعة التكرير: المحفزات .
٢- الغاز: تحويل الوقود الغازي لوقود سائل.
٣- طاقة الأمواج: طلاء مقاوم للتلوث.
٤- الطاقة النووية: مواد مقاومة للإشعاع.
٥- طاقة الرياح: تخفيف وزن أذرعة المراوح وزيادة قوتها.
٦- الطاقة الشمسية: الخلايا الكهروضوئية.
٧- الطاقة الكهربائية: كوابل عديمة المقاومة الكهربائية وعالية القوة الميكانيكية.
٨- الطاقة الحرارية الجوفية: مواد عالية التوصيل الحراري.

وفي قراءة متعمقة قام بها خمسون عالماً في جامعة رايس عام ٢٠٠٣ م لاستشراف أهم تحديات الطاقة التي يمكن لتقنية النانو مواجهتها، خلصوا إلى أن أهم تلك التحديات هي:

١- خفض تكلفة تصنيع الخلايا الكهروضوئية إلى عُشر تكلفة صناعتها الحالية.
٢- تطوير طريقة مجدية اقتصادياً للتحويل الضوئي لثاني أكسيد الكربون إلى ميثانول.
٣- تطوير طريقة مجدية اقتصادياً للتحويل الضوئي لكل من الضوء والماء معا إلى الهيدروجين.
٤- خفض تكلفة تصنيع خلايا الوقود إلى العُشر أو أكثر وتطوير مواد جديدة أطول عمراً.
٥- مضاعفة كفاءة البطاريات والمكثفات المتفوقة وقدرتها التخزينية من عشرة أضعاف إلى مائة ضعف، لاستخدامها في السيارات وتوليد الكهرباء الموزعة.
٦- تطوير مواد جديدة قوية وخفيفة لخزانات الضغط المستخدمة في تخزين الهيدروجين، إضافة إلى تطوير نظم كيميائية جديدة لامتصاص وطرد الهيدروجين من داخل الخزانات.
٧- تطوير كابلات القوى وموصلات فائقة أو موصلات كمية مصنوعة من مواد النانو؛ بهدف إعادة بناء شبكات توزيع الكهرباء وجعلها قادرة على الوصول إلى أماكن بعيدة جداً، مع تجنب الفقد الحاصل في شبكات التوزيع الحالية المصنوعة من النحاس والألمونيوم.
٨- تطوير إلكترونيات معتمدة على تقنية النانو لتحسين عمل الحاسب والأجهزة الإلكترونية والمجسات المستخدمة في شبكات الكهرباء وغيرها.
٩- تطوير طرق كيميائية - حرارية باستخدام المحفزات لإنتاج الهيدروجين من الماء تحت درجة حرارة أقل من ٩٠٠ م وبشكل مجد اقتصادياً.
١٠- تطوير مواد فائقة القوة وخفيفة الوزن لاستخدامها في وسائل النقل لتحسين كفاءتها وأدائها.
١١- تطوير نظم إضاءة جديدة تحل محل النظم الحالية.
١٢- تطوير نظم حفر جديدة معتمدة على تقنية النانو مما يتيح عمقاً أكبر في الحفر



مع تكلفة أقل، وذلك للوصول إلى مصادر طاقة جديدة أو تحويل طاقة غير مجدية اقتصادياً في الوقت الحاضر إلى طاقة مجدية اقتصادياً.

١٣ـ تطوير نظم جديدة لاستخدام ثاني اكسيد الكربون واستخراجه دون إطلاقه في الجو.

سيلاحظ القارئ فوراً أن هذه التحديات مصاغة من قبل علماء يهتمون بالجانب التقني قبل غيره، ولكن عند مقارنة هذه التحديات بقائمة أصدرها معهد تقنية النانو الأوربي عام ٢٠٠٦ م يتضح أن كلتا القائمتين تشتركان في معظم التقنيات الرئيسة التي يجمع الخبراء على قدرة تقنية النانو على الإسهام في هذه المجالات المختلفة من صناعة الطاقة.

وتشمل قائمة التقنيات ذات العلاقة بالطاقة والتي وردت في خارطة طريق تقنية النانو في مجال الطاقة من معهد تقنية النانو الأوربي مايلي :ـ

١ـ الخلايا الشمسية.
٢ـ خلايا الوقود.
٣ـ الكهرباء المباشرة (من الحرارة).
٤ـ البطاريات القابلة للشحن.
٥ـ تخزين الهيدروجين.
٦ـ المكثفات الفائقة.
٧ـ العزل الحراري.
٨ـ تقنيات الطلاء الخارجي لمواد العزل.
٩ـ الإنارة عالية الكفاءة.
١٠ـ الاحتراق.

إن إسهام تقنية النانو في صناعة الطاقة ينقسم إلى قسمين:

القسم الأول: يساهم في تطوير تقنيات متوفرة حالياً بشكل تجاري.

القسم الثاني: يساهم في تطوير تقنيات حديثة إما بشكل كلي وإما بتحويل تقنية غير مجدية اقتصادياً في الوقت الحاضر إلى مجدية في المستقبل القريب أو المتوسط البعيد.

ويكاد يجمع المراقبون على أن الإنفاق البحثي على صناعة الطاقة، بجميع تفاصيلها، كان قد ارتبط في السابق بالسياسة العامة للدول الكبرى أكثر من ارتباطه بالحاجة الحالية والمستقبلية لصناعة الطاقة من توفير وتوزيع. ومثال ذلك هو انخفاض الإنفاق الحكومي للولايات المتحدة الأمريكية على الأبحاث والتطوير في مجال الطاقة من ستة مليارات دولار في عام ١٩٩٧م إلى مليار وستمائة مليون دولار في عام ٢٠٠٢م. غير أن اعتبارات كثيرة ـ منها ماهو متعلق بالبيئة ومنها ماهو متعلق بارتفاع أسعار النفط مع ازدياد الطلب عليه بشكل مكثف مع النمو المضطرد لاقتصاد كلاً من الصين والهند ـ جعلت عدداً من الدول الكبرى تضع سياسات جادة وطموحة للتعامل مع إيجاد بدائل للطاقة وتطوير وتحسين العناصر الداخلة في صناعة إنتاج الطاقة وتوزيعها وترشيدها.

ونتج عن ذلك اتخاذ قرارات مهمة سيكون لها علاقة مباشرة بتطوير تقنيات النانو لخدمة قطاع الطاقة بمختلف مرافقه وتطبيقاته. فعلى سبيل المثال: اتخذت الحكومة الأمريكية قراراً بخفض تكلفة وقود الهيدروجين المستخرج من مصادر مستدامة من ستة دولارات وعشرين سنتاً ـ مكافيء جالون وقود واحد من البنزين ـ في عام ٢٠٠٣م إلى ثلاثة دولارات وتسعين سنتاً للوحدة نفسها. ويغلب على الظن أن هذا الخفض في التكلفة لن يتحقق إلا باستخدام تقنية النانو.

كشبيه بقرار الولايات المتحدة المذكور أعلاه اتخذت الصين قراراً باستهداف نسبة ١٠٪ من الطاقة المنتجة لتكون من مصادر بديلة بحلول عام ٢٠١٠م، أما الاتحاد الأوربي فقد استهدف نسبة ٢٢٪ من الطاقة الكهربائية لإنتاجها من مصادر بديلة بحلول العام نفسه. وينتظر أن تسهم تقنية النانو في جعل هذه الأهداف قابلة للتحقيق.



خاتمة

تؤدي الحاجة المتزايدة للكهرباء في العالم كله خاصة في الدول النامية في هذا العصر وفي المستقبل المنظور إلى اكتشافات متميزة ورائدة في عدد من مجالات العلوم والهندسة لحل مشاكل التوليد والتوزيع.

وتمتلك تقنية النانو من المعطيات والمزايا ما يؤهلها لتقديم حلول للعديد من التحديات التي لم تستطع التقنيات الحالية توفيرها في صناعة الطاقة.

المراجع

1. Road Maps for Nanotechnology in Energy, The Institute of Nanotechnology, September 2006.

2. Energy and Nanotechnology: Strategy for the Future, Baker Institute Study, Number 30, April 2005.

3. Nanotechnologies and Energy Whitepaper, Cientifica, February 2007.

4. Andrew McWilliams, Nanotechnology in Energy Applications, Research Report # GB_NAN044A, April 2007.

5. http://renewableenergystocks.com/



تعد الطاقة الكهربائية أهم أشكال الطاقة استخداماً، فهي الأساس لدفع وتشغيل العديد من وسائل الحياة الأساسية و التقنية، مثل: السيارات والآلات والحاسبات الآلية و العديد من الأجهزة و المعدات الأخرى. وتشكل طريقة تحويل الطاقة الميكانيكية الناتجة من الاحتراق، طاقة كيميائية، عن طريق المولدات أكثر الطرق استخداماً لإنتاج الطاقة الكهربائية؛ لتوفر الوقود المناسب أكثر من أي شكل آخر.

وهناك طرق أخرى لإنتاج الطاقة الكهربائية ولكنها أقل استخداماً، مثل الطاقة الشمسية الحرارية والضوئية، وطاقة الرياح وطاقة الأمواج، والتي يتم تحويلها إلى طاقة كهربائية ، حيث لا زال البحث جارياً لتحسينها جميعاً .

تمر عملية تحول الطاقة الكيميائية حتى وصولها إلى طاقة كهربائية بمراحل عديدة تتضمن أشكالاً مختلفة من الطاقة، منها : طاقة حرارية وطاقة ميكانيكية. وينجم عن هذا التحول نقص كبير في الكفاءة الكلية؛ لذا فإن الحصول على كفاءة عالية من إنتاج الطاقة الكهربائية يتطلب أقل عدد ممكن من مراحل تغيير أشكال الطاقة ، حيث يعطي التحول المباشر من الطاقة الكيميائية إلى الطاقة الكهربائية أعلى كفاءة. ومن أمثلة هذا التحول المباشر استخدام خلايا الوقود للتحول المباشر إلى الطاقة الكهربائية.

ولزيادة تحسين كفاءة التحول المباشر للطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية باستخدام خلايا الوقود؛ يقوم الباحثون عبر عدة عقود بإجراء الدراسات للبحث عن تقنيات جديدة تخدم هذا الغرض، وقد ظهرت في الآونة الأخيرة بحوث التقنية متناهية الصغر (تقنية النانو)، وذلك لإضافة الكثير من التحسين على خلايا الوقود لخفض التكلفة وتحسين الأداء، مثل زيادة مساحة السطح وإضافة خواص جديدة لأقطاب الخلايا.

خلايا الوقود

خلايا الوقود عبارة عن أجهزة تقوم بالتحويل المباشر للطاقة الكيميائية المختزنة بالمركبات الكيميائية إلى طاقة كهربائية. فمثلا يتفاعل جزئ الهيدروجين مع ذرة من الاكسجين: لينتج جزيء ماء وطاقة قد تكون بشكل حرارة مباشرة، كما في تفاعلات الاحتراق، أو قد يستفاد منها بالشكل الكهربائي المباشر (بالإضافة إلى قدر من الحرارة).

بشكل عام: هناك مركبات كيميائية تنتج طاقة كهربائية وحرارية في الوقت نفسه عند أكسدتها وتفاعلها مع الاكسجين، ومن أهم هذه المركبات غاز الهيدروجين وبعض المركبات الهيدروكربونية البسيطة، مثل: الميثانول. وينجم عن تفاعل غاز الهيدروجين مع الاكسجين إنتاج ماء فقط، ولذلك يعد هذا التفاعل من التفاعلات الأقل ضرراً على البيئة، حيث لاينتج عنه مركبات ضارة مثل ثاني أكسيد الكربون أو مركبات تحتوي على أكاسيد النيتروجين. يوضح شكل (١) الأجزاء الرئيسية لخلية الوقود والتفاعلات على كل قطب منها ، حيث تتم كما يلي:

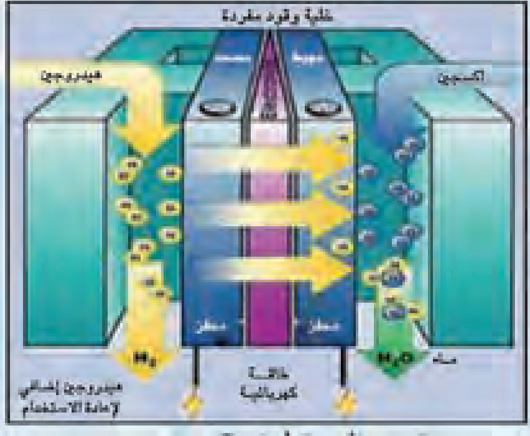
تأكسد الهيدروجين (في قطب الهيدروجين)

$$H_2 \longrightarrow 2H^+ \; 2e$$

اختزال الأكسجين (في قطب الأكسجين)

$$O_2 + 4H^+ + 4e \longrightarrow 2H_2O$$

تتكون الخلية بشكل عام من قطبين ومحلول كهروكيميائي؛ لنقل الأيونات بين القطبين، باستخدام الهيدروجين، حيث يعد من أهم أنواع الوقود المستخدمة بخلايا الوقود، فضلاً عن ذلك هناك بعض المركبات الهيدروكربونية البسيطة مثل الميثانول الذي قد يستخدم مباشرة لإنتاج الكهرباء، أو يمكن تحويله كيميائياً إلى هيدروجين، ثم إلى طاقة كهربائية بواسطة خلايا الوقود . وبما أن هذا التحول الكيميائي ينتج عنه مواد مثل أول وثاني أكسيد الكربون؛ فإن الناتج من الطاقة الكهربائية يكون أقل بسبب انخفاض الكفاءة الناتج من تعدد خطوات تحول الطاقة.



● شكل (١) المكونات الأساسية لخلية الوقود باستخدام الهيدروجين.

تتميز خلايا الوقود عن البطاريات التقليدية في اعتمادها على دمج عنصري الهيدروجين والاكسجين لإنتاج الكهرباء، والتي تحصل الخلية عليهما من مصدر خارجي، ولا تعدان من مكونات خلية الوقود نفسها، وهذا ما يعطي هذه الخلايا الأهمية بالمقارنة مع البطاريات التقليدية التي لها مكونات أساسية لتوليد الطاقة يحدث من خلالها التفاعل الكيميائي لمكونات البطارية لإنتاج الطاقة الكهربائية، وتستمر هذه العملية إلى حين انتهاء المواد الكيميائية المتفاعلة فتتوقف البطارية حتى يتم إعادة شحنها مرة أخرى. وللمقارنة تعمل خلايا الوقود بصفة مستمرة لأنها تعتمد على الهيدروجين والأكسجين الذين يأتيان من مصادر خارجية، كما أن خلايا الوقود في حد ذاتها ليست سوى رقائق مسطحة تنتج كل واحدة منها بحدود فولطاً كهربائياً واحداً، وهذا يعني أنه كلما زاد عدد الرقائق المستخدمة كلما زادت قوة الجهد الكهربائي.

• مميزات خلايا الوقود الهيدروجينية

من أهم مميزات خلايا الوقود الهيدروجينية مايلي :

١ـ لا يوجد تلوث حيث أن تفاعل الهيدروجين مع الأكسيجين ينتج الماء، لذا لاتوجد أي عوادم جانبية ضارة على صحة الإنسان والبيئة.

٢ـ كفاءة تشغيلها عالية جداً؛ إذا تم استغلال الطاقة الحرارية المصاحبة؛ لأنها تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية بشكل مباشر، مما لا يسبب أي فقد في الطاقة في أي صورة من الصور .

٣ـ هادئة في التشغيل لعدم وجود أي مكونات متحركة.

٤ـ تكلفة صيانتها أقل من الطرق التقليدية لإنتاج الكهرباء.

٥ـ يمكن التحكم في حجمها حسب الطاقة الكهربائية التي تحتاجها للتشغيل.

• عوائق انتشار خلايا الوقود

من أهم عوائق انتشار خلايا الوقود التي تُجرى الأبحاث لايجاد حلول لها مايلي:ـ

١ـ التكلفة العالية للإنشاء، مقارنة بالطرق الأخرى لإنتاج الطاقة الكهربائية، فقد تصل تكلفة إنشاء خلايا الوقود عشرة أضعاف تكلفة إنشاء المولدات الكهربائية.

٢ـ صعوبة تخزين الهيدروجين خاصة للتطبيقات المتحركة مثل السيارات.

٣ـ ضرورة تطوير أنظمة متكاملة لتناسب جميع التطبيقات مثل إنتاج الطاقة بالأجهزة المتحركة، أو الصغيرة، أو محطات توليد الطاقة الكبيرة، حيث إن كل منها يتطلب منظومة متكاملة للوصول إلى أعلى كفاءة ممكنة.

٤ـ تتطلب خلايا الوقود الخاصة بغاز الهيدروجين أن يكون الوقود بدرجة عالية من النقاوة نسبياً.

تطويــر خلايــا الوقــود

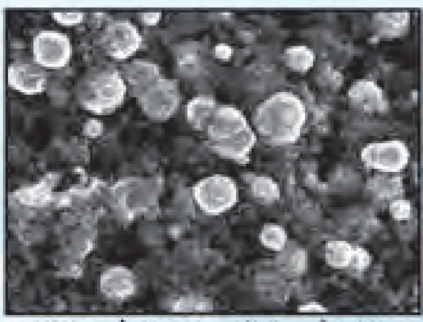
تلعب التقنيات المتناهية الصغر دوراً مهما في تطور خلايا الوقود ليتم التغلب على المعوقات سابقة الذكر وزيادة كفاءة عملها. ومن أهم النقاط البحثية التي تخص خلايا الوقود هي الأبحاث الخاصة بتطوير الأقطاب بنوعيها المصدر والمهبط والتي يحدث عليها تفاعلات الأكسدة والاختزال.

يعد البلاتين من أهم المواد المستخدمة لمحفزات تفاعلات الأكسدة والاختزال؛ لما له من خواص، منها أنه يعطي أقل فرق جهد لبدء التفاعل في القطبين وخاصة قطب الهيدروجين. وهناك العديد من مجالات تطوير أداء وكفاءة المحفز على الأقطاب باستخدام تقنية النانو من أهمها مايلي :

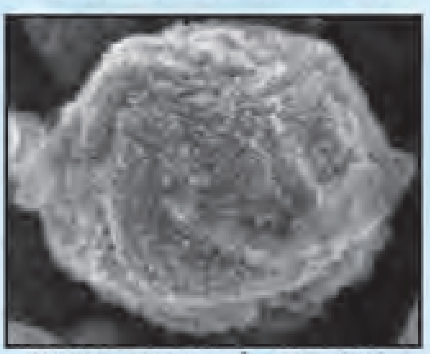
• زيادة سطح التفاعل

يمثل البلاتين ـ من المعادن الثمينة ـ جزءً كبيراً من تكلفة الخلية، لذا فإن تخفيض الكمية اللازمة منه للتفاعل مع الحفاظ على سرعة وكفاءة الخلية يعد أمراً مهماً. وبما أن تفاعلات الأكسدة والاختزال تكون فقط على سطح البلاتين، وما تحته يكون بدون استخدام؛ فإنه كلما قلت نسبة مساحة السطح إلى كمية البلاتين المستخدمة زادت تكلفة الخلية . كذلك تتناسب سرعة التفاعل مع مساحة السطح فكلما زادت المساحة زادت سرعة التفاعل وانخفضت بالتالي التكلفة، وعليه من الحلول لخفض التكلفة يتمثل في وضع حبيبات دقيقة بحدود ١٠٠ نانومتر من البلاتين بحيث تزيد من مساحة السطح وفي الوقت نفسه تقل كمية البلاتين لإنتاج الكمية نفسها من الطاقة. وبهذه الحالة تزداد سرعة التفاعل عن طريق زيادة مساحة السطح، وتقل تكلفة إنتاج الخلية.

ومن الطرق المستخدمة لإنتاج تلك الحبيبات طرق كهروكيميائية لترسيب البلاتين من أملاحه داخل منظومة كربونية، حيث يكون الترسيب خلال زمن وتيار كهربائي محددين للوصول إلى المقاس المناسب من الحبيبات كما هو مبين بالشكل (٢) .



• شكل (٢ـأ) صورة بالمجهر الإلكتروني لحبيبات البلاتين المرسبة كهروكيميائيا بمنظومة من الكربون جمع التيار.

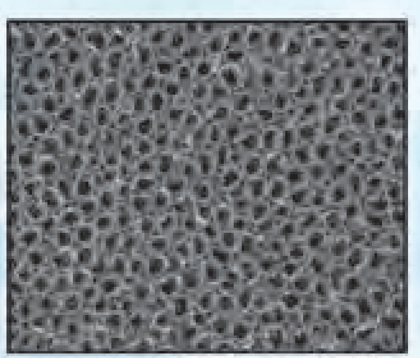


• شكل (٢ـب) تكبير لحبيبة واحدة بين المسام الداخلية.

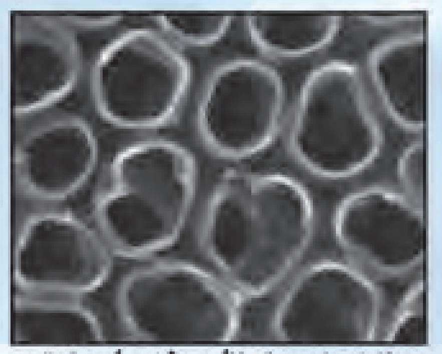
• منع اندماج الحبيبات

هناك عامل آخر - كذلك - يحد من كفاءة الخلية هو أن صغر حجم الحبيبات يؤدي إلى سهولة انتقالها من موقع إلى آخر داخل منظومة مجمع التيار (المنظومة الكربونية) خاصة عند درجات حرارة عالية من التشغيل. يؤدي هذا الانتقال إلى تكوين حبيبات أكبر، وبالتالي تقل مساحة السطح، والأهم من ذلك تقل التوصيلية للقطب، وبالتالي تتكون مناطق من البلاتين لا يمكن لها الاتصال بالدائرة المتكاملة، ولذا يفقد القطب جزء من البلاتين.

ومن الطرق المستخدمة لمنع اندماج الحبيبات وجود تركيب أو سطح متماسك مع منظومة تحتية تمنعه من الانتقال، وفي الوقت نفسه يجب أن يحتوي هذا التركيب على مساحة سطح كبيرة جداً. ومن أمثلة تلك التركيبات أنابيب دقيقة تكون مرتبة بأبعاد متساوية تقريبا ومفتوحة من طرف واحد، بينما يكون الطرف الآخر ثابت بسطح الفلز (التيتانيوم في هذه الحالة)، شكل (٣). ويتصف هذا التركيب بمساحة سطحية كبيرة جداً، وتوصيلية داخلية أعلى بكثير من منظومة الكربون، ويكون الاتصال مباشر وبقدرة عالية. ومن الممكن كذلك ترسيب البلاتين داخل هذه الأنابيب، بحيث يقوم بتسهيل التفاعل حتى عند درجات حرارة عالية، وذلك لوجود حواجز من أكسيد التيتانيوم تمنع اندماج هذه الحبيبات.



• شكل (٣-أ) منظومة أنابيب دقيقة من أكسيد التيتانيوم مكون فوق سطح من التيتانيوم.



• شكل (٣-ب) صور مكبرة لأنبوب دقيق من أكسيد التيتانيوم.

• تحسينات أخرى

كذلك هناك العديد من التحسينات التي تضيفها تقنية النانو إلى خلايا الوقود، تشمل تحسين عامل المحفزات، وكذلك تحسين تكوين منظومة الأقطاب مع الوسط الإلكتروليتي. وإجمالاً فإن العديد من الشركات بدأت بإنتاج خلايا الوقود المحسنة بتقنية النانو، إذ ظهرت الكثير من خلايا الوقود ذات التطبيقات المختلفة مثل السيارات والحاسبات وحتى الهواتف الشخصية أو المحمولة بالإضافة الى التطبيقات العسكرية. وبهذه الحالة فإن المستخدم يقوم بشراء الوقود المناسب للخلية عند نفاذه، كما يستطيع المستهلك استبداله بحاوية أخرى بدلا من إعادة الشحن كما هو معمول بالبطاريات.

الخلاصة

تهدف التطبيقات السابقة إلى تحسين خلايا الوقود باستخدام تقنيات النانو في أجزاء من الخلية مع الحفاظ على الحجم المعتاد لتلك الخلايا، والذي قد يصل إلى الأمتار. كذلك هناك تطبيقات عدة لتقنية النانو بتكوين خلية ذات حجم مصغر جداً بمقياس المايكرومتر بحيث تتكون أجزاؤها - وخاصة الأقطاب - بمقياس النانومتر. يوضح الشكل (٤) صورة بالمجهر الإلكتروني لأقطاب خلية وقود متكاملة بحجم المايكرومتر .



• شكل (٤) صورة بالمجهر الإلكتروني لأقطاب خلية وقود متكاملة بمقياس المايكرومتر.

كذلك يبين الشكل (٥) صورة من مجهر إلكتروني لخلايا وقود دقيقة متكاملة تقوم بإنتاج التيار الكهربائي متى ما وصل إليها الهيدروجين .

وتقوم هذه الخلايا بتوليد الطاقة الكهربائية للتطبيقات الدقيقة مثل أنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة. وفي هذه الحالة فإن الخلايا تكون متكاملة مع النظام لتقليص كمية الحرارة وزيادة كفاءة الخلية، وخفض تكلفة الإنتاج (خاصة مع الكميات الكبيرة المنتجة من النظام المتكامل). كذلك تقوم صناعة خلايا الوقود الدقيقة على تكوين الخلايا وتصنيعها بشكل طبقات متراصة، كل طبقة يتم ترسيبها أو تكوينها حتى يتم تكوين الطبقات كلها من الخلية والتي قد تصل إلى ١٠ طبقات بهدف استخدامها في العديد من العمليات المختلفة.



• شكل (٥) صورة بالمجهر الإلكتروني لأقطاب خلية وقود كاملة بمقياس النانو.

عالم في سطور

رائد علم النانو العربي

عالمنا لهذا العدد من العلماء الأفذاذ الذين أبدعوا في كل مجال طرقوه، فقد أبدع في الهندسة الإنشائية دون رغبة منه، حيث كان يحلم بأن يكون فنانا مرموقا ولكن وقفت رغبة والده دون ذلك، ثم حول مساره بعد حصوله على البكالريوس في الهندسة المدنية الى الميكانيكا التطبيقية ليحصل فيها على الماجستير والدكتوره، كما أبدع في علم الفوضى المحددة، وتقنية النانو، والفيزياء النووية، ونتيجة لابداعه ونبوغه فقد تلقفته العديد من الجامعات العالمية الشهيرة للاستفادة من علمه وإمكاناته.

● **الاسم: محمد صلاح النشائي**

● **الجنسية:** مصري

التعليم

– التعليم العام في مصر.

– ١٩٦٨م بكالوريوس في الهندسة المدنية من جامعة هانوفر بألمانيا.

– الماجستير والدكتوراه من جامعة لندن في الميكانيكا التطبيقية.

● **أعماله**

– عمل في ألمانيا لمدة ثلاث سنوات في تصميم الشوارع والكباري.

– محاضر لمدة عامين في جامعة لندن بعد حصوله على الدكتوراه.

– مدرس في جامعة الرياض ومديراً عاماً للمشاريع في المركز الوطني للعلوم والتكنولوجيا (**مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية**) في المملكة العربية السعودية لمدة أربعة أعوام.

– عمل في معامل لاس الاموس بأمريكا.

– استاذ زائر لمدة عامين في جامعة نيو مكسيكو.

– استاذ بقسم علوم الفضاء والطيران في جامعة كورنيل.

– استاذ بقسم الرياضيات والطبيعة النظرية في جامعة كمبريدج لمدة ١١عاماً.

– استاذ بمؤسسة سولفاي للطبيعة والكيمياء بجامعة بروكسل الحرة في بلجيكا.

–استاذ زائر في ست من جامعات العالم من بينها جامعتا القاهرة والمنصورة في مصر.

● **انجازاته العلمية**

– قام بتطوير نظرية يطلق عليها اصطلاحاً "**الزمكان كسر كنتوري**" نسبة إلى العالم الالماني **جورج كنتوري**، والتي أتاحت له تحديد قيم الثوابت الطبيعية في الكون مثل ثابت الجذب العام، وثابت الكهرومغناطيسية. تأتي هذه النظرية محاولة لتوحيد قوى الطبيعة في قانون واحد، وقد صحح بعض الأخطاء والمفاهيم الأساسية في النظرية النسبية **لأينشتاين** ودمجها مع نظرية الكم في نظرية واحدة أطلق عليها نظرية "القوى الأساسية الموحدة"

– استطاع حساب ما يعرف بطيف الكتل الذرية، الذي لم تستطع معادلات ميكانيكا الكم تحقيقه إلا من خلال التجارب المعملية فقط، ولكي تصبح نظرية رياضية مكتملة عليها تحقيق ذلك رياضياً، وهذا ما أنجزه بالفعل.

– نشر أكثر من ٤٠٠ ورقة علمية دولية لها تطبيقات مهمة في مجالات الفيزياء النووية وفيزياء الجسيمات، وقد استخدمت وكالة الفضاء الأمريكية أبحاثه في بعض تطبيقاتها.

– أسس أول مجلة علمية في تطبيقات العلوم النووية، تصدر في ثلاث دول، هي: أمريكا، وإنجلترا، وهولندا.

● **الجوائز**

– رشح لجائزة نوبل للمرة الأولى عندما استطاع حساب ما يعرف بطيف الكتل الذرى.

– مرشح الآن لجائزة نوبل للمرة الثانية في حال اكتشاف ولو جسيم واحد جديد من ٩جسيمات دون ذرية تنبأت بها نظريته، حيث تنبأت نظريته بوجود ٦٩جسيماً ذرياً تعد اللبنات الأساسية للكون بدلاً من ٦٠جسيماً اكتشفت كلها وتنبأت بها نظرية الكم.

– كرمه قسم الفيزياء في جامعة فرانكفورت – بعد أكبر وأشهر مراكز الأبحاث الطبيعية في أوربا– كأستاذ متميز لدوره في تطوير نظرية "**الزمكان كسر كنتوري**"

– كرمته جامعة حيدر آباد بالهند.

– كرمته مصر بمنحه جائزة الدولة التقديرية.



يقصد بالتصنيع الدقيق تشكيل المواد والأجهزة بمقياس النانو (10^{-9} متر)، إما بأسلوب من أعلى إلى أسفل وإما من أسفل إلى أعلى.

يتمثل أسلوب التصنيع من الأعلى إلى الأسفل في تشكيل بنى وأجهزة بمقياس النانو، بدء من مادة كبيرة الحجم، باستخدام وسائل وآلات النقش. وكثيراً -وإن لم يكن دائماً- ما يترتب على هذا الأسلوب إزالة مادة غالباً ما تكون على شكل نفاية. وتعد هذه الطريقة امتداداً طبيعياً للأساليب الراهنة المستخدمة أو الإلكترونيات الميكرونية، حيث يتم صنع بنى ذات أبعاد محددة جداً بوضع طبقات رقيقة من المادة ونقش تلك الأجزاء غير المرغوب بها من كل طبقة.

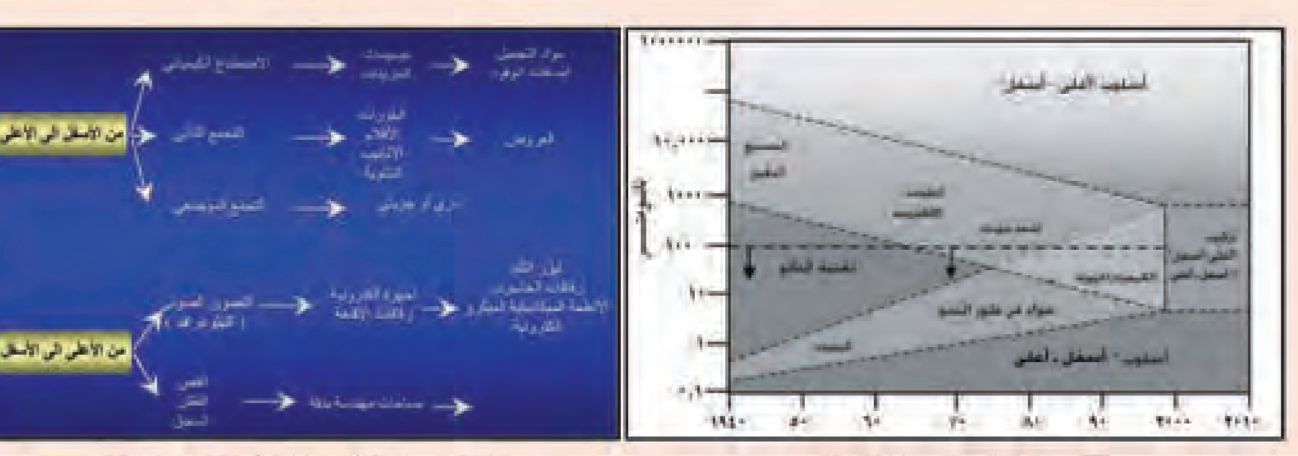
أما أسلوب التصنيع من الأسفل إلى الأعلى، فيتمثل في بناء نظام معقد من مواد بسيطة مثل محرك من أجزاء بسيطة وأساسية. ويتضمن هذا الأسلوب التحكم والسيطرة في ذرات وجزيئات منفردة لبناء جزيئات بالأبعاد والامتداد النانوي، وهو أسلوب أشبه ما يكون بالعمليات الأحيائية والكيميائية، حيث تتجمع الذرات لتكوين بنية بلورية أو بنية خلية حية.

تعتمد طريقة التصنيع من أعلى إلى أسفل - إلى حد كبير - على وسائل الطباعة الضوئية الحديثة، ويتجه التطور فيها نحو أبعاد أصغر وأصغر، في حين تتجه طريقة المعالجة من أسفل إلى أعلى إلى التحكم ببنية متناهية الكبر حجماً من خلال عمليات كيميائية متطورة.

تتم عمليات التصنيع الدقيق داخل مختبرات تخضع لدرجة عالية من مواصفات النظافة ونقاوة الهواء، وتُعرف هذه المختبرات بالغرف النظيفة (Clean Rooms). وتصنف درجة نظافتها حسب عدد ذرات الغبار في القدم المكعب، بموجب المقاييس (Classes) ١، ١٠، ١٠٠، ١٠٠٠، و ١٠٠٠٠. أي أنه كلما قل الرقم دل ذلك على نظافة الغرفة.

قبل الدخول لهذه الغرف يلزم الباحث ارتداء ملابس خاصة في غرفة تبديل الملابس (Gowning Area) للحفاظ على نظافة الغرف النظيفة، وعند دخوله هذه الغرف يمر بمرحلة انتقالية يتم فيها تمرير تيار هوائي لإزالة العوالق من على ملابسه حرصاً على عدم دخول أي عوالق من الغبار إلى الغرفة النظيفة. وتوضح الصورة شكل الغرف النظيفة والملابس المناسبة لها.

الجدير بالذكر أن تعاون وسيلتي التصنيع من الأعلى إلى الأسفل ومن الأسفل إلى الأعلى تؤدي إلى وسائل مستقبلية وتهجين مبدع للتصنيع من شأنه أن يسمح بصناعة بنى وأجهزة مدمجة ثنائية وثلاثية الأبعاد.



● تطور أساليب التصنيع الدقيق.

● أساليب التصنيع الأساسية وبعض تطبيقاتها.



• صورة في الغرفة النظيفة والعاملين فيها .

التصنيع من أسفل لأعلى

التصنيع من أسفل لأعلى عبارة عن تشكيل بنى نانوية بواقع ذرة تلو أخرى أو جزيئ تلو جزيئ. ويمكن تصنيف هذه الطريقة وفقاً لما يلي:

• الاصطناع الكيميائي

يستخدم الاصطناع (التخليق) الكيميائي لإنتاج المواد النانوية الخام التي يمكن استخدامها بعد ذلك لبناء كتل من المواد أو البنى الأكثر تقدماً. وتجدر الإشارة إلى أن معظم المواد بمقياس النانو ما تزال عند مرحلة الإنتاج في المختبر، ولا يتوفر منها إلا القليل الذي ينتج تجارياً.

• التجميع الذاتي

يعد التجمع الذاتي وسيلة لاصطفاف الذرات أو الجزيئات بشكل متوسط في تركيب نانوي منتظم من خلال تفاعلات فيزيائية أو كيميائية بين الوحدات. ومن الأمثلة على ذلك طلاء المساحات المسطحة، والكبسولات والأسلاك النانوية، والمكونات الإلكترونية الأساسية، حيث تبدو عملية الترسيب البخاري الكيميائي (CVD) في وقتنا الحاضر واعدة بشكل خاص في تحقيق طلاء بمقياس النانو ولإنتاج الأفلام الرقيقة والأنابيب النانوية والبنى الأخرى.

• التجمع الموضعي

يتم عن طريق التجمع الموضعي التحكم عن قصد بالذرات والجزيئات، وصفها ذرة تلو أخرى أو جزيئ تلو آخر. ويمكن استخدام مجهر المسح النفقي ومجهر القوة الذرية أو حتى أدوات الملاقط البصرية كأدوات للتحكم بجسيمات النانو. وتعد هذه الطريقة شديدة البطء كما أنها ما تزال ذات طاقة إنتاجية محدودة، لأن اللجوء إلى صنع بنية واحدة بهذه الطريقة لاستخدامها بعد ذلك لعمل نسخ مطابقة منها بواسطة أساليب أخرى مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد تزيد من مدة الإنتاج.

التصنيع من الأعلى إلى الأسفل

تنطوي طرق التصنيع من الأعلى إلى الإسفل على حك أو سحق المادة وصنع بنية نانوية من مادة ذات حجم كبير، وذلك باستخدام وسائل الهندسة الدقيقة أو باستخدام الطباعة الحجرية (Lithogarphy)، وهي طرق تم تطويرها على مدى العقود الثلاثة الماضية في صناعة أشباه الموصلات، ويمكن توضيح هاتان الطريقتان فيما يلي:

• الهندسة الدقيقة

غالباً ما تُستخدم وسيلة الصناعة البالغة الدقة في صناعة الإلكترونيات الميكرونية، ومن أمثلة هذه الصناعات إنتاج رقائق أشباه الموصلات، لاسيما في المراحل الميكانيكية لوضع الرقائق، وصناعة البصريات الدقيقة. إضافة إلى ذلك تستخدم وسائل الهندسة البالغة الدقة لمجموعة متنوعة من المواد الاستهلاكية مثل الأقراص الصلبة للحاسبات، والأقراص المضغوطة، وأجهزة قراءة أقراص الفيديو الرقمية.

حاليا، يمكن بهذه الوسيلة إنجاز شرائح تزيد أبعادها على ١٠٠ نانومتر على مسافة عشرات السنتمترات، كما أن بإمكانها صقل مساحات يبلغ جذر متوسط مربع خشونتها

بين ٥. إلى ١,٠ نانومتر.

تتضمن عمليات التصنيع بالهندسة الدقيقة عملية واحدة أو أكثر من العمليات التالية:

*** ترسيب الفلم أو رقاقة من المادة (Film deposition)**: ويتم باستخدام تقنيات مختلفة يعتمد اختيار أحدها بناء على طبيعة المادة المراد ترسيبها وخصائصها، حيث تختلف خصائص المادة في هذه المرحلة عن خصائص المادة في حالتها العادية، ومن الخصائص التي تراعى عند اختيار المادة المناسبة مايلي:

- **التوصيلية (Conductivity)**: وهي مدى القدرة على توصيل التيار الكهربائي بجودة عالية، وهذه الخاصية مهمة للفلزات المستخدمة للتوصيل.
- **الالتصاق (Adhesion)**: وهي قدرة المادة على الالتصاق بالقاعدة المرسب عليها، وكلما كان الالتصاق أكبر كلما كان ذلك أفضل.
- **الترسب (Deposition)**: وهي قدرة المادة على الترسب بصورة منتظمة دون الحاجة الى رفع درجة الحرارة بشكل كبير.
- **دقة حدود الترسيب (Patterning)**: أي أن تكون المادة ذات حدود واضحة بعد الترسيب.
- **الاعتمادية (Reliability)**: وتقاس بقدرة المادة على تحمل التغير في درجات الحرارة أثناء التصنيع.
- **الاجهاد الميكانيكي (Stress)**: ويفضل أن يكون قليلا للمادة حتى لا تتشوه أثناء التصنيع.



● جهاز الترسيب بالحزمة الإلكترونية.

ومن أساليب الترسيب المستخدمة في عمليات التصنيع الدقيق، الجدولان (٢،١)، ما يلي:

١- الطلي (Electroplating): وهي خاصة بالفلزات فقط، ويتم فيها ترسيب ذرات المعادن على أسطح موصلة للتيار باستخدام التيار الكهربائي بطريقة معاكسة للخلية الجلفانية.

٢- التبخير (Evaporation): وهي من طرق الترسيب المعروفة حيث يتم تبخير المواد المراد ترسيبها في الفراغ، وبسبب وجودها في الفراغ تنطلق مترسبةً على القاعدة (Substrate).

٣- الترسيب بالحزمة الإلكترونية (E- Beam Deposition): وهو أسلوب فيزيائي لترسيب البخار، حيث توضع الركائز بغرفة مفرغة تحتوي على مادة طلاء في أسفلها، وتستخدم حزمة إلكترونية لتسخين هذه المادة وتبخيرها على سطح الشريحة.

وتجدر الإشارة إلى أن أساليب الترسيب البخاري الفيزيائية أقل كلفة من عمليات الترسيب البخاري الكيميائية، إلا أنها أقل جودة من ناحية وحدة وبنية الشرائح المنتجة، ويستخدم المُبخر بالحزمة الإلكترونية لطلاء الفلزات والمواد العازلة الكهربائية.

ويرجع السبب في ذلك إلى أن الفلزات مواد ثقيلة يصعب تبخيرها، إضافة إلى أن الحزمة الإلكترونية لا تمثل أي خطر من ناحية تلويث الركيزة، بخلاف وسائل التبخير الأخرى.



● ترسيب الأبخرة فيزيائيا باستخدام التتفيل.

٤- ترسيب الأبخرة فيزيائيا: (PVD Sputtering): ويطلق عليها التتفيل، تعتمد هذه الطريقة على الترسيب البخاري الفيزيائي لتصنيع شرائح على قاعدة ما بأسلوب شبيه بعملية الترسيب بالحزمة الإلكترونية. وفي هذه الطريقة، توضع الركيزة في غرفة مفرغة تحتوي على مواد طلاء في أسفلها، ومن ثم يقذف الفلز أو الإشابه (خليط الفلزين) بأيونات عالية الطاقة لتحرير بعض ذراتها، التي تتجمع بدورها على سطح الركيزة. ويتميز هذا الأسلوب عن غيره من أساليب الترسيب البخاري كالترسيب بالحزمة الإلكترونية بمزايا عديدة، منها أنه يجرى عند درجات حرارة منخفضة، وغالباً ما يصنع شرائح أكثر نظافة، وذات ترسيب موحد. إلا أن العيب فيه هو الضرر الناجم عن استخدام أيونات عالية الطاقة.

٥- الترسيب بأشعة الليزر (Laser Vapor Deposition): ويتم عن طريق تبخير المادة المراد ترسيبها باستخدام أشعة الليزر في غاز خامل عند درجات حرارة عالية قد تصل إلى ١٢٠٠ْم.

٦- الترسيب بالتبخير الكيميائي (Chemical Vapor Deposition- CVD): وتتم في الحالة الغازية بوضع المادة المراد ترسيبها في مرحلة الغاز ثم تسخينها باستخدام مصدر حراري لتتم بعد ذلك عملية الترسيب المطلوبة، وتحدث هذه

المواد والطرق الممكنة	فلزات نقية	سيلكا	أشباه موصلات	مركبات	بوليمرات
الطلي	X				
التبخير	X	X			
التذرية (الترسيب الأبخرة فيزيائيا)	X	X	X		
الترسيب بالنحت بالليزر	X	X	X	X	
الترسيب بالتبخير الكيميائي			X	X	X
الترسيب بالتبخير الكيميائي بمساعدة البلازما			X	X	X
ترسيب الطبقة الذرية				X	
جهاز الشعاع الجزيئي البلوري	X	X	X	X	

● جدول (١) طرق الترسيب المناسبة للمواد المختلفة.

المواد والطرق الممكنة	الكمية	نقاوة الفلم	ضبط الكمية	تغطية الخطوة	تسخين الرقاقة
الطلي	٣	١	١	٣	لا
التبخير	٣	٢	١	١	نعم
التذرية (الترسيب الأبخرة فيزيائيا)	٢	٣	١	٢	نعم
الترسيب بالنحت بالليزر	٣	١	٢	٢	نعم
الترسيب بالتبخير الكيميائي	٢	١	٢	٣	نعم
الترسيب بالتبخير الكيميائي بمساعدة البلازما	٢	١	٢	٢	نعم
ترسيب الطبقة الذرية	١	٢	٢	٣	نعم
جهاز الشعاع الجزيئي البلوري	١	٣	٣	٢	نعم

● جدول (٢) كفاءة طرق الترسيب المختلفة.

التفاعلات في درجة حرارة عالية.

٧- ترسيب التبخير الكيميائي بالبلازما (PECVD): ويتم فيها إحداث فرن تفاعلي عن طريق فرق جهد عالي التردد بين القطبين الكهربائيين، حيث تكون القاعدة على القطب السفلي و تزود الغازات التفاعلية المراد ترسيبها من القطب المقابل، ثم يحدث التفاعل منتجا الرواسب على القاعدة. ويعاب على هذه الطريقة إنتاجها طبقات غير متبلورة، وقد تستخدم لأغراض العزل.

٨- ترسيب الطبقة الذرية (Atomic Layer Deposition -ALD): في الحالة الغازية وتتم بوضع المادة في مرحلة الغاز على دفعتين، ثم تسخينها باستخدام مصدر حراري فتتم بعد ذلك عملية الترسيب المطلوبة. تختلف هذه الطريقة عن طريقة الترسيب بالتبخير الكيميائي بأنها تتم على مرحلتين بينما تتم طريقة الترسيب بالتبخير الكيميائي على مرحلة واحدة.



● غرفة التنمية المتماثلة للشرائح البلورية.

٩- جهاز الشعاع الجزيئي البلوري (Molecular Beam Epitaxy -MBE)

وتستخدم في ترسيب المواد أحادية التبلور (Single Crystals)، حيث يتم استخدام مفرّغ عالي الكفاءة لتتم عملية تبخير المادة المطلوب ترسيبها، ثم تترسب على القاعدة قبل أن تتفاعل مع أي غاز آخر مكونة طبقة بلورية عالية الجودة، ويمكن تكرار العملية عند الحاجة بدون تداخل بين الطبقات المرسبة. وتتميز هذه الطريقة بجودة عملية الترسيب من حيث التناسقية، ولكنها بطيئة.

● الطباعة الحجرية

يتم في طريقة الطباعة الحجرية طلاء سطح المادة الموصلة الذي يكون على درجة عالية من الصقل - غالبا عبارة عن رقاقة سليكون - بواسطة مادة واقية شديدة الحساسية للضوء وهو ما يسمى بحساس الضوء (Photo resist). ويتم توزيع هذا الطلاء فوق رقاقة السليكون بالتساوي باستخدام جهاز الغزّال (spinner)، وهو جهاز توضع فوقه رقاقة السليكون ويدور بسرعة كبيرة جدا، مما يؤدي إلى توزع الطلاء فوق الرقاقة بالتساوي. ويلي ذلك وضع رقاقة السليكون و المادة الحساسة للضوء في فرن لتثبيت الطلاء على الرقاقة.

ويتم رسم صورة الدائرة كهربائية المراد تصنيعها على قناع (Mask) يوضع فوق الرقاقة. ويتصف هذا القناع بأنه شفاف في أجزاء ومعتم في أخرى حسب الدائرة المراد تصنيعها، وعند تعرض رقاقة السليكون للأشعة فوق البنفسجية ومن فوقها القناع فإن أجزاء تتعرض للأشعة والأخرى لا تتعرض بناء على التصميم. ثم تأتي المرحلة الثانية وهي مرحلة التنميش (Etching)، حيث يتم فيها إزالة الأجزاء التي تعرضت للأشعة أو لإستزراع ذرات غريبة أو بواسطة الترسيب. وبطريقة أخرى فإن القناع يمثل الرسم المراد نقشه على القاعدة بحيث يسمح للأشعة بالمرور أو لا يسمح.

والجدير بالذكر أن هناك نوعان من الطلاء الحساس للأشعة هما:

الطلاء الإيجابي: وفيه تزال المادة المعرضة للأشعة.

الطلاء السلبي: وفيه تكون المناطق المعرضة للأشعة هي الباقية وتزال المناطق الأخرى.

الجدير بالذكر أن مستويات الأداء المطلوبة حاليا من المادة/القناع أصبحت على غاية من الصرامة؛ اذ أن صفيحة طولها ١٠ سم يجب أن لا تتمدد بما لا يزيد عن بضعة أعشار من النانومتر اذا ما رفعت حرارتها درجة مئوية واحدة، وهو يعني بضعة أضعاف من القطر الذري. كما أن

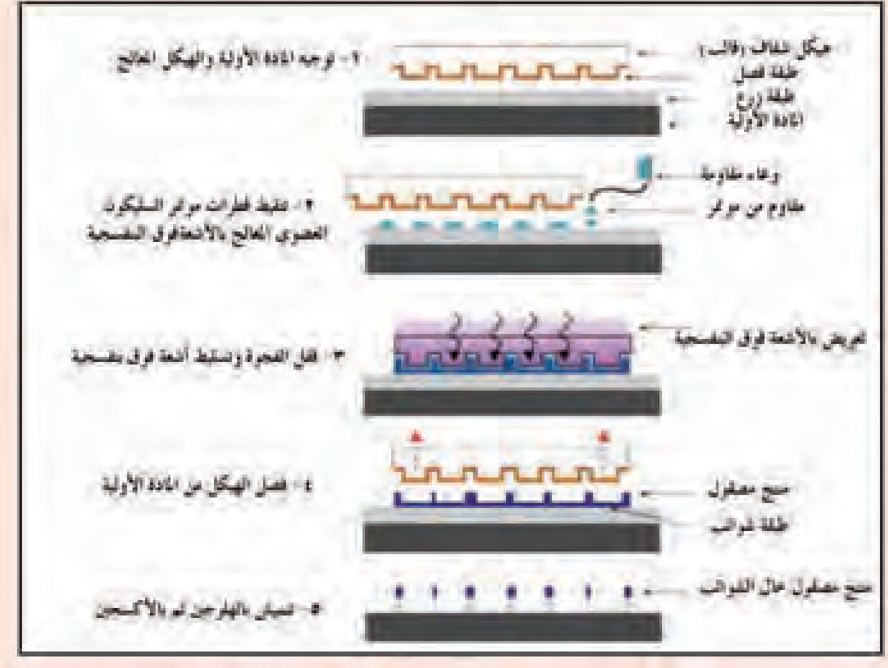
درجة الانتظام أو التجانس المطلوبة يمكن تقديرها ببضعة أضعاف من القطر الذري.

ويخلق تكرار العملية وفق أنساق ودوائر كهربائية جديدة - بالنهاية - بعض البنيات الأشد تعقيدا التي يمكن أن يصنعها الانسان ، ويعني ذلك أن الدوائر المبرمجة على درجة عالية أو الشرائح الإلكترونية تكون على درجة عالية من الدقة . وجدير بالذكر هنا أنه عند تكرار العملية أكثر من مرة فإنه يلزم أن يكون القناع في مستوى واحد بالنسبة للقاعدة في جميع العمليات ، ولذا يستخدم جهاز مصفاف القناع (Mask Aligner) في كل مرة تجرى فيها عملية الطباعة الضوئية. وفي أيامنا هذه ، ارتفعت كثافة الترانزستورات إلى درجة أن الامر أصبح يتطلب نصف مليون ترانزستور أو أكثر منها لتبلوغ حجم أثر نقطة واحدة يتركها قلم رصاص. وتمتلك الشرائح الإلكترونية الحديثة بنى هيكلية يقل حجمها عن الطول الموجي لضوء الطباعة الحجرية . وهي تستخدم أشعة ليزر بكريبتون- فلوريد بطول موجي قدره ١٩٣ نانومتر للحصول على بنى هيكلية بعرض ١٣٠ نانومتر ثم ٩٠ نانومتر. وقد أصبح ذلك ممكنا الان باستخدام تشكيلة واسعة من الحيل البصرية البارعة مثل تصحيح القرب البصري والانتقال الطوري . ويتم تمهيد الطريق الان أمام تقنية الطباعة الحجرية بالاشعة فوق البنفسجية القصوى (EUV) التي تستخدم أطوالا موجية قدرها ١٣ نانومتر ، حيث يكون البلازما في هذه الحالة هو المصدر ، ويمكن بهذه التقنية انتاج بنى هيكلية لا يزيد عرضها عن ٣٥ نانومتر في عنصر السليكون. وتعد تقنية العدسات هي عنق الزجاجة في تقدم صناعة أشباه الموصلات وذلك لأنها تحدد مدى دقة الطباعة المستخدمة في مراحل التصنيع.

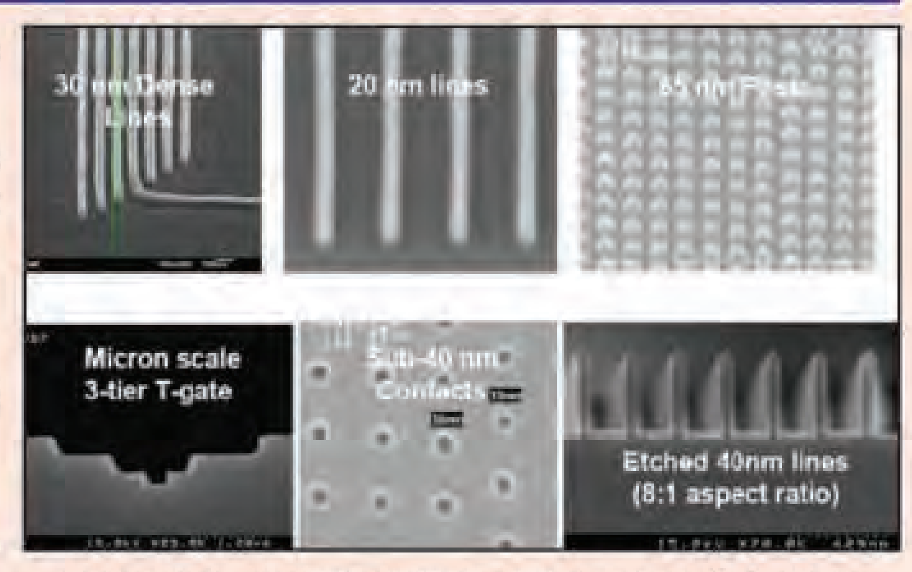
ومن التقنيات الحديثة في هذا المجال ما يسمى بتقنية الطباعة النانوية (Nano-imprinting technology)، وتتم في هذه التقنية عملية الطباعة بطريقة مشابهه إلى حد كبير لطريقة عمل الأختام المطاطية المصغرة ، حيث يتم ضغط القالب (Mold) ميكانيكيا على مادة البوليمر (Polymer) أو مادة المونومر (Monomer)، وأثناء عملية التصنيع ، تعالج هذه المادة إما حراريا أو باستخدام الاشعة فوق البنفسجية (UV light) للحصول على أنماط تفصيلية تصل لمستوى النانومتر في دقتها . وهي لا تعتمد على البصريات والليزر بشكل رئيسي كما في طريقة الطباعة الضوئية التقليدية مما يجعلها بسيطة ورخيصة مقارنة بالطريقة التقليدية. ويوضح الشكل (١) ، خطوات التمنيش بطريقة تقنية الطباعة الدقيقة ، كذلك يوضح الشكل (٢) بعض الاشكال الناتجة من عملية التصنيع باستخدام تقنية تقنية الطباعة النانوية ملتقطة باستخدام المجاهر النانوية.

- **التمنيش (Etching)** : وهو إزالة بعض الاجزاء غير المرغوب فيها - القابلة للازالة - من سطح القاعدة بناء على تصميم معين بعد عملية الطباعة الحجرية (Lithography) ، حيث يتم بطرق فيزيائية أو كيميائية. والهدف في النهاية من هذه العملية تمثل الدائرة الكهربائية المرسومة على القناع لتكون على القاعدة. هناك طريقتان ، هما للتمنيش :

*** التمنيش الرطب (Wet etching):** ويمتاز بانخفاض تكلفته مقارنة بالتمنيش الجاف ، ويتم فيه استخدام المواد الكيميائية لإزالة المناطق غير المرغوب بها من على القاعدة ، ولكل قاعدة معينة هناك مادة



● شكل (١) خطوات التصنيع بالطباعة النانوية .



● شكل (٢) بعض الأشكال الناتجة من عملية التصنيع بتقنية الطباعة النانوية باستخدام المجاهر النانوية.

كيميائية مناسبة للقيام بعملية التنميش عليها، ويوضح الجدول (٣) بعض أنواع القواعد والمواد المناسبة للتنميش لها:

* **التنميش الجاف (Dry etching)**: وهو عبارة عن إزالة المناطق غير المرغوب بها من على القاعدة باستخدام الأيونات أو البلازما. ويعد جهاز الطبع بالتفاعل الأيوني (Reactive Ion Etcher - RIE)، أبرز الأجهزة المستخدمة في التنميش الجاف. في هذا الجهاز توضع القاعدة على طبق في الغرفة المفرغة، ومن ثم يطلق فيها غاز يختلف نوعه باختلاف القاعدة وباختلاف المادة المراد تنميشها. ويستخدم الطبق كقطب كهربائي لإنتاج موجات الترددات الموجية، بحيث تكون جدران الغرفة هي الأرض أو الموصل بالنسبة للموجات، التي تقوم بتأيين جزيئات الغاز بفصل الإلكترونات عن

مادة القاعدة	مادة التنميش
أكسيد السليكون	حمض الفلور
سليكون نترايد	حمض الفسفور
البولي سليكون	هيدروكسيد البوتاسيوم
الألمنيوم	حمض النيتروجين أو حمض الفسفور
الذهب	يوديد [illegible]

■ جدول (٣) بعض أنواع القواعد والمادة المناسبة لها في التنميش.

ذراتها، مما يؤدي إلى انتاج الإلكترونات والأيونات في الوقت نفسه. وتؤدي الموجات إلى تذبذب الإلكترونات والأيونات عمودياً، لذلك فإنه إما أن ترتطم الإلكترونات بجدران الغرفة وتنتقل بالتالي خلال الجدران، وإما أن ترتطم بالرقائق لتتراكم مكونة شحنة سالبة. أما الأيونات فتنقذف على الشريحة الرقيقة فتؤدي إلى طبعها أو نقشها إما كيميائياً بتفاعل الأيونات مع المادة المكونة للشريحة، وإما فيزيائياً بطرد ذرات الرقيقة بالقوة الحركية لهذه الأيونات.

التصنيع الدقيق بالمدينة

يتم في هذه الأيام بناء أول غرف نظيفة في المملكة ذات درجات نقاوة تتراوح من ١٠٠ إلى ١٠٠٠، وتوجد هذه الغرف في المركز الوطني للتقنية متناهية الصغر (النانو) داخل حرم مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية. وتبلغ مساحة هذه الغرف النظيفة ٧٥٠ م٢ مقسمة الى أربع غرف هي:

* **الغرفة الأولى**: وهي غرفة البناء البلوري وأجهزة تشخيص العمليات (Epitaxial) (growth)، وتبلغ درجة نقاوة ١٠٠٠، وتحتوي على عدة أجهزة أهمها:

1- (Metal Organic Chemical Vapour Deposition (MOCVD)

* Molecular Beam Epitaxy (MBE)

أجهزة التشخيص، مثل:

2- XRD, Surface profiler, PL Mapper and Ellipsometer

* **الغرفة الثانية**: وهي غرفة العمليات الجافة في مراحل التصنيع، وتبلغ درجة نقاوتها ١٠٠٠، وتحتوي على:

* E-beam deposition
* Sputtering
* Plasma enhanced chemical vapour deposition
* Reactive Ion Etcher (RIE)
* Low pressure chemical vapour deposition
* Rapid thermal processing (RTP)

* **الغرفة الثالثة**: وهي غرفة العمليات الرطبة الكيميائية في مراحل التصنيع، وتبلغ ودرجة نقاوتها ١٠٠٠ وتحتوي على الأجهزة التالية:

* Electro plating
* Electro less plating
* Acid and Solvent Wet Benches

* **الغرفة الرابعة**: وهي غرفة الطباعة الضوئية و الإلكترونية، وتبلغ درجة نقاوتها ١٠٠ وتحتوي على الأجهزة التالية:

* Optical Mask aligner
* E-Beam lithography
* Baking Ovens
* Spinner

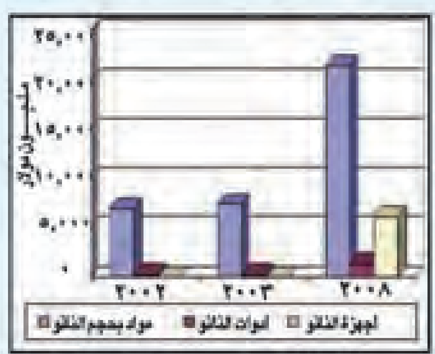


تتضمن تقنيات النانو مجالات عديدة من أهمها: المواد النانوية والتي لها تطبيقات مختلفة في مجالات الطاقة، والإلكترونيات، والتركيبات البوليمرية، والدهانات، والطب الحيوي، والمواد الصيدلانية، والتجميل، والمواد المحفزة، والبصريات، والأجهزة والمعدات، والمنتجات الاستهلاكية، والخلايا الشمسية، وموادالبناء، والتصوير، وغيرها من التطبيقات الأخرى، حيث دخلت هذه المنتجات في الأسواق العالمية، وبشكل متزايد.

سيتناول هذا المقال أهم مجالات تقنيات النانو في الأسواق العالمية ومبيعاتها ومعدلات نموها السنوي ومدى تطورها خلال الخمسة أعوام الماضية والقادمة.

بلغ مجموع الطلب العالمي على المواد ذوات الحجم النانوي والادوات والتجهيزات حوالي ٧,٥بليون دولار في عام ٢٠٠٣م، ومن المتوقع أن يرتفع إلى ٢٨,٧ بليون دولار في عام ٢٠٠٨م، بمعدل نمو سنوي يصل إلى ٣٠,٦٪.

مثلت شريحة المواد النانوية ٩٧٪ من المبيعات في عام ٢٠٠٣م، ويتوقع أن تتقلص إلى ٧٤,٧٪ في عام ٢٠٠٨م. تعد انابيب الكربون النانوية الأسرع نمواً، حيث من المتوقع أن يكون معدل نموها السنوي ١٧٣٪ ،وللتركيبات النانوية ٧٦٪، أما بالنسبة للادوات النانوية فإن مساهمتها في السوق ستكون ٤,٣٪. أما الاجهزة النانوية فستمثل ٢١٪، ويبين الشكل (١) السوق العالمي للتقنية النانوية مابين ٢٠٠٢ - ٢٠٠٨م .



● شكل (١) السوق العالمي للتقنية النانوية (٢٠٠٢-٢٠٠٨م)

المجسّات النانوية

اشتملت المجسّات النانوية على مجسّات كيميائية نانوية اهمها مجسّات غازية عالية الحساسية)، ومجسّات حيوية نانوية (أنظمة LC النانوية)، ومجسّات ذات قوة نانوية.*

بلغت المبيعات العالمية الاجمالية لهذه المجسّات في عام ٢٠٠٤م حوالي ١٩٠مليون دولار ويتوقع أن ترتفع بمعدل نمو سنوي حوالي ٢٥,٥٪ ، أي إلى ٥٩٢ مليون دولار، مع بداية عام ٢٠٠٩م.

أما سوق المجسّات الحيوية النانوية والكيميائية النانوية فيتوقع أن ينمو بشكل ملموس خلال عام ٢٠٠٩م، بمعدل سنوي يصل إلى ٥٣,١٪ و ٣٢,٩٪ على التوالي.

أما بالنسبة لمجسّات الحركة النانوية والإشعاع النانوي فإن التوقعات تشير إلى أن حجم مبيعاتها لن يكون كبير، في حين يتوقع أن لايكون للمجسّات الحرارية النانوية اية مبيعات تجارية خلال هذه الفترة.

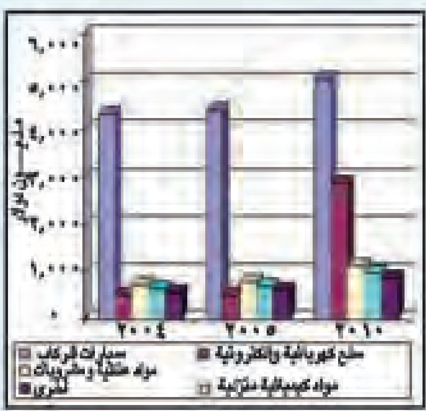
منتجات المستهلك

تشمل في منتجات المستهلك السلع الكهربائية، والإلكترونية، والمواد الكيميائية المنزلية، والمواد الغذائية، والمشروبات، والسيارات، وغيرها مثل: المعدات الفوتوغرافية، والأفلام، والنسيج، ومنتجات العناية الشخصية، والمستلزمات الرياضية، والمنتجات البصرية.

قدرت قيمة مبيعات تقنيات النانو لإنتاج منتجات المستهلك في العالم بحوالي ٦,٧بليون دولار عام ٢٠٠٥م، ويتوقع أن تصل إلى حوالي ١٠,٥بليون دولار في عام ٢٠١٠م، أي بمعدل نمو سنوي يصل إلى ٩,١٪.

أما بالنسبة لسوق منتجات المستهلك النهائية التي تعتمد في إنتاجها على تقنيات النانو فقد بلغت حوالي ٨٠٠ بليون دولار في عام ٢٠٠٤م، ويتوقع أن تصل إلى ٩٥٨بليون دولار في عام ٢٠١٠م . كما شكلت مبيعات الجسيمات النانوية -المستخدمة بشكل أساسي في انتاج المحولات الحفزية للسيارات وإنتاج الإطارات- حوالي ٩٠٪ من حجم السوق، ومن المتوقع مع بداية عام ٢٠١٠م أن تزداد مساهمة المواد ذات البنية النانوية في السوق من ٧,٥٪ إلى ١٩٪

● مجاهر المجس الماسح



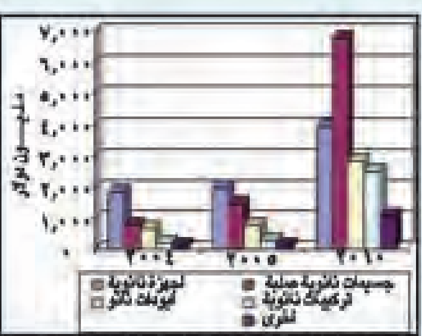
● شكل (٢) القيمة العالمية لتقنية النانو لمنتجات المستهلك (٢٠٠٤-٢٠١٠م)

والأنابيب النانوية من ٠,٠٠٢٪ إلى ٨,٣٪ يبين الشكل(٢) القيمة العالمية لسوق النانو في منتجات المستهلك مابين ٢٠٠٤-٢٠١٠م.

علــوم الحيـــاة

تتضمن تقنية النانو في علوم الحياة تقنية الجسيمات النانوية الصلبة، والتركيبات النانوية، والمواد ذات البنية النانوية والأدوات النانوية، وغيرها. وقد بلغت مبيعات تطبيقات علوم الحياة في السوق العالمي حوالي ٩١٠ مليون دولار في عام ٢٠٠٥م، ومن المتوقع أن يتجاوز ٤,٣ بليون دولار خلال عام ٢٠١٠م بمعدل نمو سنوي ٣٠٪ تقريباً، وتعد تطبيقات الأدوات النانوية -أهمها المجسّات النانوية المستخدمة في مسح المخدرات- أكبر شريحة تقنية في عام٢٠٠٤م، حيث استحوذت مبيعاتهــا على أكثر من ٥٠٪ من سوق تطبيقات النانو في علوم الحيـــاة، في حين بلغت أسواق تطبيقات الجسيمـات النانوية حوالي ٢١,٤ ٪، والمواد ذات البنيـة النانوية ١٨,٤٪، والتركيبات النانوية ٥,١٪.

يتوقع في عام ٢٠١٠م أن تتخطى تطبيقات الجسيمـات النانويـــة تطبيقات الأدوات النانوية، لتصبــح أكبر شريحـــة



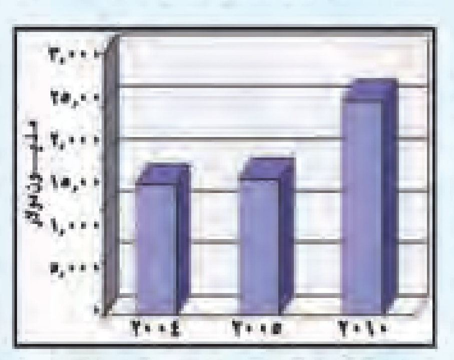
● شكل (٣) السوق العالمي لتطبيقات تقنية النانو في علوم الحياة (٢٠٠٤-٢٠١٠م).

تقنيـــة، لتحتل ٣٩,٦٪ من الســـوق مقارنـة مـــع ٢٣,١٪ من الســوق في الوقت الحالي.

كما يتوقع أن ينمو سوق التطبيقات الطبية إلى ٦٠,٣٪ خلال عام ٢٠١٠م، وتنخفض المساهمة في علوم الحياة والـتطبيقات البيئيـــة، وترتفـع المساهمة في علوم الأغذيـة والتقنيـة الـزراعيـــة من ٥,١٪ إلى ١٣,٤٪. ويبـين الشـــكل (٣) السوق العالمي لتطبيقـات تقنيـــة النانـــو في علوم الحياة.

أسواق المواد النانويـــة

بلغ مجموع الاستهلاك العالمي لجميع أنواع المواد النانوية في عام ٢٠٠٥م تسعة ملايين طن متري، ووصلت مبيعاتها إلى ١٣,١ بليون دولار، ومن المتوقع أن يصل الاستهلاك إلى ١٠,٣ مليون طن، بقيمة ٢٠,٥ بليـون دولار خلال عام ٢٠١٠م، بمعدل نمو سنوي يبلغ ٩,٣٪. كانت المواد العضوية والبوليمرات النانوية الأكبر استهلاكاً من مجموع استهلاك المـــواد النانوية، كما يتوقع أن تزداد مساهمة المواد النانوية التي تتضمن أكاسيد بسيطة من ٨,٥٪ إلى ١٥,٧٪ في عام ٢٠١٠م. وتعد المواد النانوية الفلزيـة ثاني أكبر المـــواد النانوية استهلاكاً،حيث تبلغ نسبة استهلاكها في الســوق ٢١٪ من مجموع الاستهــلاك العالمي.

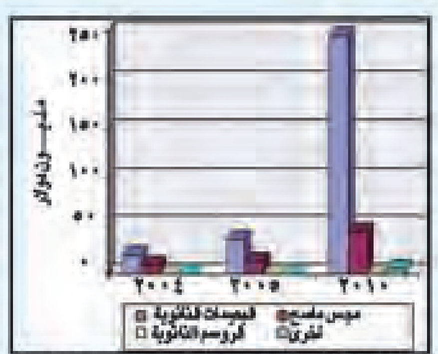


● شكل (٤) الاستهلاك العالمي من المواد النانوية.

وفي مجال منتجـات علم التشكل - فرع مـن علم الأحياء - فإنـــه من المتوقع أن تتقلص مساهمـــة الجسيمـات الـنانويـــة في الســوق إلى حوالي ٥٤,٦٪، في حين من المتوقــع أن ينمو سوق الجسيمات والمونوليث والتركيبات إلى ٢٥٪، ١٧,٤٪، و ٣٪ علـى الـتوالي. ويبين الشكل (٤) الاستهلاك العالمي من المـــواد النانونيـــة فـي مجال منتجـــات علـم التشكـل.

الطباعة والنقش والزركشة

تشـمل تقنيات الطباعة والنقش والزركشة النانوية جميع أدوات وقوالب ومواد الطباعة وغيرها من القطع المستهلكة الأخرى، وقد قدرت مبيعاتها في عام ٢٠٠٥م بحوالي ٤٦,٣ مليون دولار، ويتوقع أن تصل إلى ٢٩٢,٧مليون دولار في عـام ٢٠١٠م، بمعـدل نمو سنوي ٤٤,٦٪. كما بلغ سوق تقنيات بصمات (دمغات الطباعة) من مجمل سوق تقنيات الطباعة حوالي ٧٤٪، أما بالنسبة للمجس الماسح للطباعة الحجرية فقد بلغ ٢٦٪، ويتوقع أن تزداد مساهمة السوق لتقنيات البصمـات النانوية إلى حوالي ٨٤٪، ويتقلص سوق المجس الماسح للطباعة الحجريـة إلى حـــوالي ١٥٪. ويبين



• شكل(٥) التوقعات العالمية المستقبلية لسوق الأدوات ومواد الطباعة.

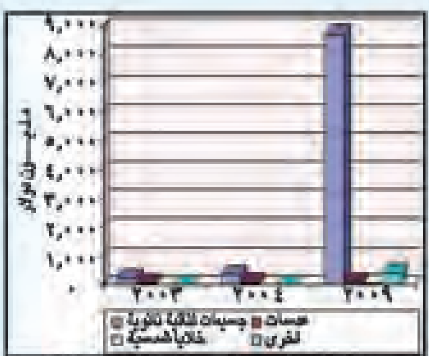
الشكل (٥) توقعات المبيعات العالمية المستقبلية لأدوات ومواد الطباعة وغيرها من القطع المستهلكة.

الأجهزة الفوتونية

تتضمن الأجهزة الفوتونية الصمامات الثنائية النانوية (Nanodiode)، والبصريات والخلايا الشمسية وغيرها، وقد بلغ السوق العالمي لهذه الأجهزة حوالي ٤٢٠,٧ مليون دولار عام ٢٠٠٤م، ويتوقع أن يصل إلى ٩,٣٢٥بليون دولار خلال عام ٢٠٠٩م، أي بمعدل نمو سنوي يصل إلى ٨٥,٨٪.

أما مبيعات الصمامات الباعثة للضوء الفوتونانوية، وتطبيقات شاشات البلازما، واللوحات الاشعاعية فقد بلغت أكثر من ثلاثة أرباع السوق في عام ٢٠٠٣م، واحتلت البصريات ١٨,٧٪، والخلايا الشمسية ٤,٩٪.

ويعد معدل النمو السنوي لسوق الصمامات الثنائية الباعثة للضوء، الأسرع نمواً من سوق الأجهزة الفوتونية، حيث بلغت أكثر من ٩٠٪ مابين ٢٠٠٤ و ٢٠٠٩م، أما بالنسبة للبصريات والدوائر المتكاملة للأجهزة الفوتونية النانوية فهي من أنواع الأجهزة الأخرى التي من المتوقع أن تكون مساهماتها في السوق بأكثر من ١٪ في عام ٢٠٠٩م. يبين الشكل (٦) شرائح السوق العالمي للأدوات الفوتونية النانوية.



• شكل(٦) شرائح السوق العالمي للأدوات الفوتونية النانوية (٢٠٠٣-٢٠٠٩م)

المحفزات النانوية

بلغ السوق العالمي للمحفزات النانوية ٣,٧ بليون دولار في عام ٢٠٠٤م، ويتوقع أن يصل إلى ٥ بليون دولار في عام ٢٠٠٩م،أي بمعدل نمو سنوي يصل إلى ٦,٣٪، وقد بلغت المبيعات العالمية من المحفزات النانوية الصناعية مثل: الإنزيمات، والزيوليتات، والفلزات الانتقالية حوالي ٩٨٪ في عام ٢٠٠٣م.

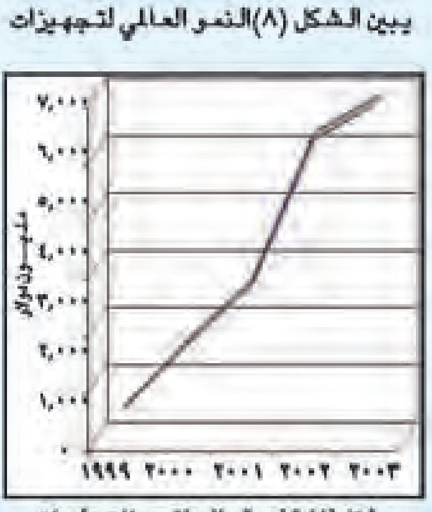
من المتوقع أن تساهم أنواعاً أحدث مثل: أكاسيد المعادن الانتقالية، والميتالوسين، وأنابيب الكربون النانوية، وغيرها لتصل إلى أكثر من ثلاثة أضعاف مساهمتها في السوق، أي بحوالي ٦,٨٪ خلال عام ٢٠٠٩م.

أما بالنسبة لقطاع التكرير والبتروكيمائيات فقد كان أكثر القطاعات استخداماً للمحفزات النانوية ، حيث بلغت مساهمتها في السوق أكثر من ٣٨٪ في عام ٢٠٠٣م، يعقبها قطاعات المواد الصيدلانية، والكيميائية، وتصنيع المواد الغذائية، والتطبيقات في مجال البيئة. يبين الشكل (٧) الأسواق العالمية للمحفزات النانوية.

• شكل(٧) الأسواق العالمية للمحفزات النانوية (٢٠٠٢-٢٠٠٩م)

التجهيزات والأدوات

بلغ إجمالي سوق التجهيزات والأدوات لتقنية النانو حوالي ٧٠٠ مليون دولار في عام ٢٠٠٣م، حيث كان معدل النمو السنوي حوالي ٢٢,٤٪ ما بين الأعوام ١٩٩٩-٢٠٠٣م. وقد تقدم قطاع مجاهر القوى الذرية عن بقية التجهيزات والأدوات، وبالرغم من أنها كانت باهظة الثمن إلا أن لها تطبيقات في كل مجالات تقنيات النانو. ويتوقع أن يزداد هذا القطاع بمعدل نمو سنوي ١٨٪ أي حوالي ٤٢٨,٧ مليون دولار في عام ٢٠٠٨م. أما بالنسبة لأنظمة الطباعة الحجرية فإنه من المتوقع أن يكون أكثر نمواً حيث وصل بمعدل نمو سنوي إلى ٥٥,٧٪. وتعد هذه التقنية حديثة وتلعب دوراً أساسياً في التقنية النانوية. يبين الشكل (٨)النمو العالمي لتجهيزات



• شكل(٨) النمو العالمي لتجهيزات وأدوات تقنية النانو (١٩٩٩-٢٠٠٣م).

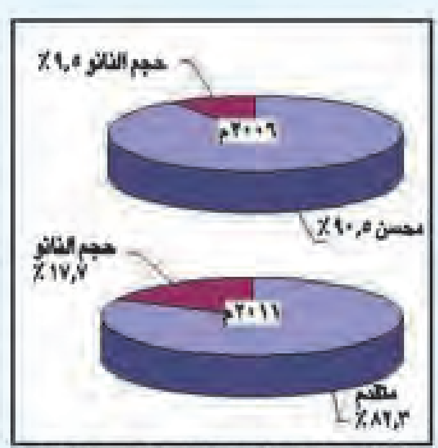
وأدوات تقنية النانو.

مساحيق السيراميك المحسنة والنانوية

بلغ سوق الولايات المتحدة من مساحيق السيراميك المحسنة حوالي ٢,٢ بليون دولار، ومن المتوقع أن يرتفع إلى حوالي ٣,٤ بليون دولار خلال عام ٢٠١١م، أي بمعدل نمو سنوي يصل إلى ٨,٩٪ حيث بلغ حجم السوق حوالي ٩٧٪، ومن المتوقع أن ينخفض إلى ٩٦٪ في عام ٢٠١١م. ويبين الشكل (٩) مقدار مساهمة مساحيق السيراميك المحسنة ومساحيق السيراميك النانوية من حيث القيمة في أسواق الولايات المتحدة.

كذلك بلغ سوق الولايات المتحدة من مساحيق السيراميك المحسنة بما فيها مساحيق السيراميك النانوية ١٦٠٥مليون دولار في عام ٢٠٠٢م، وقد ازداد بمعدل نمو سنوي مقداره ٧,٣٪ ليصل إلى ٢٢٨٢ مليون دولار في عام ٢٠٠٧م.

كذلك بلغ استهلاك مساحيق السيراميك النانوية حوالي ١٥٤ مليون دولار في عام ٢٠٠٢م، وارتفع إلى حوالي ٢٤١ مليون دولار في عام ٢٠٠٧م، أي بمعدل سنوي يصل إلى ٩,٣٪.



• شكل (٩) سوق الولايات المتحدة الأمريكية للسيراميك المحسن ومسحوق السيراميك بحجم النانو في عامي ٢٠٠٦ و٢٠١١م.

• شكل (١٠) سوق الولايات المتحدة الأمريكية للسيراميك المحسن ومسحوق السيراميك بحجم النانو في عامي ٢٠٠٢ و٢٠٠٧م.

ويبين الشكل (١٠) سوق الولايات المتحدة للسيراميك المحسن ومساحيق السيراميك النانوية مابين ٢٠٠٢، و٢٠٠٧م.

التطبيقات الإلكترونية والمغناطيسية والبصرية

بلغ السوق العالمي للجسّيمات النانوية المستخدمة في التطبيقات الإلكترونية والمغناطيسية والإلكترونية البصرية (المبصارية) ٣٣٣ مليون دولار في عام ٢٠٠٠م، ثم ارتفع إلى حوالي ٦٦٧ دولار في عام ٢٠٠٥م، أي بمعدل نمو سنوي يصل إلى ١٤,٩٪.

الطب والمواد الصيدلانية ومواد التجميل

بلغ السوق العالمي للجسّيمات النانوية المستخدمة في تطبيقات الطب الحيوي والمواد الصيدلانية والتجميل حوالي ٩٧مليون دولار في عام ٢٠٠٠م، وتمثل قيمة الجسيمات النانوية غير العضوية المستخدمة كعوامل مضادة للجراثيم، واللواصق الاحيائية وأوساط الفصل، ومواد حاملة للدواء، والواقيات من الشمس وغيرها، وقد ارتفع سوق تلك المواد إلى ٤٥ مليون دولار في عام ٢٠٠٥م، أي بمعدل نمو سنوي يصل إلى ٨٪.

تطبيقات الطاقة والمحفزات

بلغ السوق العالمي للجسّيمات النانوية المستخدمة في تطبيقات الطاقة والمحفزات حوالي ٦٢,٥ مليون دولار في عام ٢٠٠٠م، ثم وصل إلى ٨٧,٨ مليون دولار في عام ٢٠٠٥م، أي بمعدل نمو سنوي يصل إلى ٧٪، كما تضمن ذلك إنتاج الاغشية نصف النفاذة (Semi Permeable) السيراميكية، وخلايا الوقود، والمتفجرات، والطلاء المقاوم للخدش، وطلاء البخ الحراري.

تركيبات نانوية بوليمرية

من أمثلة التركيبات النانوية البوليمرية تركيبات البوليمرات المطاوعة للحرارة والمتصلدة بالحرارة، المحتوية على مواد مالئة طَزية، وفلزات، وألياف، وغيرها من المواد المضافة الأخرى لتحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية للبوليمر، بالإضافة إلى الخلطات البوليمرية.

وقد تجاوز حجم إنتاج مثل هذه التركيبات إلى حوالي ٢٥مليون كيلو جرام في عام ٢٠٠٤م،وبقيمة تسويقية بلغت ٢٠٠مليون دولار.

كما بلغ مجموع السوق العالمي لتركيبات نانوية بوليمرية أخرى -يدخل فيها الجسيمات النانوية والصلصال النانوي والانابيب النانوية- حوالي ٩٠,٨ دولار في عام ٢٠٠٣م، ومن المتوقع أن يصل إلى ٢١٠مليون دولار في عام ٢٠٠٨م، أي بمعدل نمو سنوي يصل إلى ١٨,٤٪.

تعد مبيعات المواد البلاستيكية المطاوعة للحرارة الأكثر في العالم، إذ بلغ معدل نموها السنوي حوالي ٢٠٪.

وقد تصل مبيعاتها في عام ٢٠٠٨م إلى ١٨٠ مليون دولار.

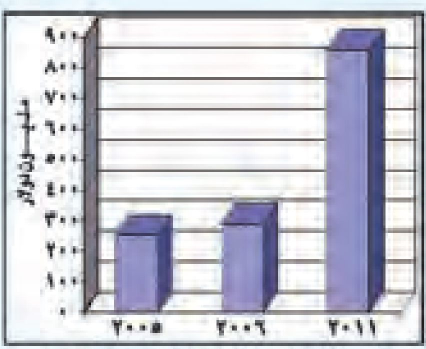
أما المواد البلاستيكية المتصلدة بالحرارة فقد يصل معدل نموها السنوي إلى ١٠٪ أي من ٢٠ مليون دولار في عام ٢٠٠٣م، إلى ٣٢,٢ مليون دولار في عام ٢٠٠٨م. علاوة على ذلك فقد يصل حجم السوق من المواد البلاستيكية الصلدة بالحرارة إلى حوالي ٧٧٪ خلال عام ٢٠٠٨م.

أما بالنسبة للتركيبات النانوية الصلصالية فقد بلغت قيمة تصل إلى حوالي الربع (٢٤٪) من مجموع استهلاك التركيبات النانوية في عام ٢٠٠٥م، يليها التركيبات الفلزية والأكاسيد الفلزية حوالي ١٩٪، ثم تركيبات أنابيب الكربون النانوية حوالي ١٥٪.

من المتوقع أن تزداد حصة سوق التركيبات النانوية الصلصالية إلى ٤٤٪ في عام ٢٠١١م، ومن المتوقع أيضاً أن تصل حصة السوق الأخرى للتركيبات الفلزية وأكاسيد الفلزات إلى ٢٠٪، وتركيبات السيراميك إلى ١١,٥٪ مابين الأعوام ٢٠٠٥ و ٢٠١١م، في حين من المتوقع أن تنخفض مساهمة تركيبات أنابيب الكربون النانوية إلى ٧,٥٪.

كانت تطبيقات التركيبات النانوية لقطع المركبات، والطاقة، والتغليف الأساس في عام ٢٠٠٥م، حيث بلغت مبيعاتها حوالي ٢٩٪ و ٢٨٪ ١٩٪ على التوالي. وقد مثل الطلاء أهم التطبيقات الرئيسة في عام ٢٠٠٥م، حيث بلغت مساهمته في السوق حوالي ١٤٪. كذلك من المتوقع أن تصبح مواد التغليف هي أحدث التطبيقات الرئيسة في التركيبات النانوية، وقد تتجاوز مبيعاتها إلى حوالي ٢٨٪.

يتوقع أن تبقى تطبيقات الطاقة في المرتبة الثانية في عام ٢٠١١م، و قد تصل مساهمتها في السوق إلى ٢٦٪. أما بالنسبة لتطبيقات قطع المركبات فستكون في المرتبة الثالثة، وقد تصل مساهماتها في السوق إلى ١٥٪، يعقبها مواد الطلاء ١٤٪ في عام ٢٠١١م، ويبين الشكل (١١) الاستهلاك العالمي للتركيبات النانوية مابين الأعوام ٢٠٠٥–٢٠١١م.



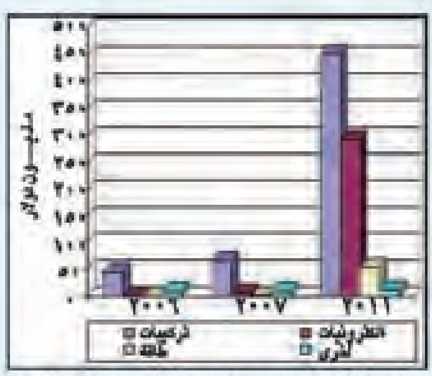
● شكل (١١) الاستهلاك العالمي من التركيبات النانوية (٢٠٠٥ – ٢٠١١م).

الأنابيب النانوية

تعد الأنابيب النانوية - اسطوانات لذرات كربون بأنصاف أقطار تتراوح مابين ١ إلى ٣٠٠ نانومتر- أكثر المواد المعروفة قساوة، حيث تستخدم في النواقل وغيرها من الاستخدامات التي تعتمد على بنيتها وخواصها الفيزيائية والميكانيكية.

صور الكربون الماكروسكوبية مثل: الألماس والجرافيت كانت معروفه منذ مئات من السنين. تستخدم هاتين الصورتين في عدة تطبيقات تبدأ من مواد التزييت إلى مواد الطلاء المقاومة للتعرية، وبالرغم من استخدامها منذ مئات السنين فإنه مازال يكتشف لها تطبيقات جديدة. وإنه من الواضح أن الألماس والجرافيت يعدان مواد هامة اقتصادياً.

بلغ السوق العالمي للأنابيب النانوية حوالي ٥٠,٩ مليون دولار في نهاية عام ٢٠٠٦م، وقد وصل إلى ٧٩,١ مليون دولار

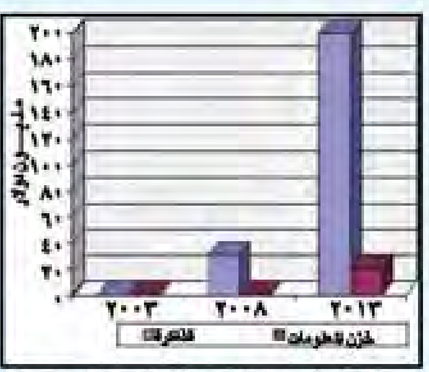


● شكل (١٢) توقعات السوق العالمي لأنابيب الكربون النانوية في القطاعات التجارية الواعدة (٢٠٠٦–٢٠١١م)

في عام ٢٠٠٧م، وإنه من المتوقع أن يصل إلى ٨٠٧,٢ مليون دولار خلال عام ٢٠١١م، أي بمعدل نمو سنوي يصل إلى ٧٣,٨٪. وبقيت تركيبات الأنابيب النانوية أكثر مساهمة في السوق حيث بلغت ٤٣ مليون دولار في عام ٢٠٠٦م، أي أكثر من ٨٩٪ من مجموع الصناعة العالمية، وإنه من المتوقع أن يصل هذا القطاع إلى ٤٥١,٢مليون دولار في عام ٢٠١١م، ويأتي بعدها تطبيقات النانو في مجال الإلكترونيات، حيث من المتوقع أن يصل سوق هذا القطاع إلى حوالي ٢٩٠ مليون دولار في عام ٢٠١١م، وفي مجال الطاقة إلى حوالي ٥٣مليون دولار. ويبين الشكل (١٢) توقعات السوق العالمي لأنابيب الكربون في القطاعات التجارية الواعدة مابين الأعوام ٢٠٠٦– ٢٠١١م.

الأنظمة الكهروميكانيكية النانوية

تتضمن الأنظمة الكهرو ميكانيكية النانوية (NEMS) والأجهزة الآلية النانوية (nanorobots) معدات ومواد وأجهزة مصنعة. وقد ارتفع السوق العالمي لهذه الأنظمة من ٢٩,٥ مليون دولار في عام ٢٠٠٤م، إلى ٣٤,٢ مليون دولار في عام ٢٠٠٥م، ثم وصل إلى٤٠,٣مليون دولار في عام ٢٠٠٦م، ومن المتوقع أن يصل إلى ٨٣٠,٤ مليون دولار عام ٢٠١١م، أي بمعدل نمو سنوي يصل إلى ٨٣,١٪. كانت الأجهزة



● شكل (١٣) سوق منتجات خزن المعلومات والذاكرة الإلكترونية النانوية ما بين ٢٠٠٣-٢٠١٣م

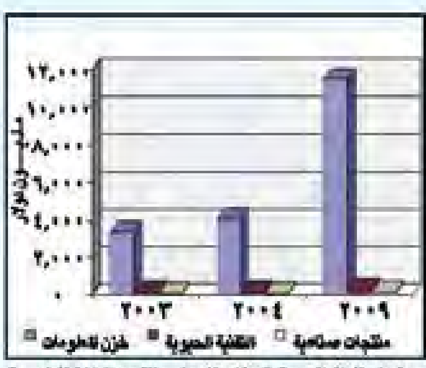
والمعدات أكثر مساهمة في السوق في عام ٢٠٠٦م حيث بلغت ٥٧٪ من مجموع السوق العالمي. أما بالنسبة للأجهزة الآلية النانوية فقد وصل سوقها العالمي بنهاية عام ٢٠٠٦م ما يزيد عن المليون دولار، ومن المتوقع أن يقفز إلى ٥٦٠,٩ مليون دولار في عام ٢٠١١م، بمعدل نمو سنوي يصل إلى أعلى من ٥٠٪، وبذلك تكون مساهمتها ٦٧,٥٪ من السوق الاجمالي.

الإلكترونيات النانوية

بدأ نمو سوق منتجات الذاكرة الإلكترونية النانوية ومنتجات خزن المعلومات الإلكترونية النانوية من بداية عام ٢٠٠٤م، حيث وصل سوقها إلى ٢٠ بليون دولار في عام ٢٠٠٨م. ويتوقع أن يصل إلى ٢٠٠ بليون دولار في عام ٢٠١٣م. يبين الشكل (١٣) سوق منتجات خزن المعلومات والذاكرة الإلكترونية النانوية.

المواد والأجهزة المغناطيسية النانوية

بلغ السوق العالمي للمواد والأجهزة المغناطيسية النانوية ٤,٣ بليون دولار في عام ٢٠٠٤م، ويتوقع أن يصل إلى ١٢,٠ بليون دولار في عام ٢٠٠٩م، أي بمعدل نمو سنوي يصل إلى ٢٢,٦٪. وتقدر تطبيقات خزن المعلومات بحوالي ٩٠٪ في سوق اليوم وقد تستمر بالارتفاع في عام ٢٠٠٩م.



● شكل (١٤) السوق العالمي للمواد والأجهزة المغناطيسية النانوية حسب القطاع (٢٠٠٣-٢٠٠٩م)

من المتوقع أيضاً أن تنمو تطبيقات التقنية الحيوية - تتضمن الفصل الحيوي وعوامل التحكم بصورة الرنين المغناطيسي، والمجسمات الاحيائية المغناطيسية النانونية، والمجسات النانوتية لمعالجة الأمراض- في عام ٢٠٠٩م لتصل إلى ٣١٠ مليون دولار. كما يتوقع أن يصل قطاع المنتجات الصناعية لأنوية محولات البلورات النانوية المغناطيسية اللينة إلى حوالي ١٦٧ مليون دولار في عام ٢٠٠٩م. ويبين الشكل (١٤) السوق العالمي للمواد والأجهزة المغناطيسية حسب القطاع.

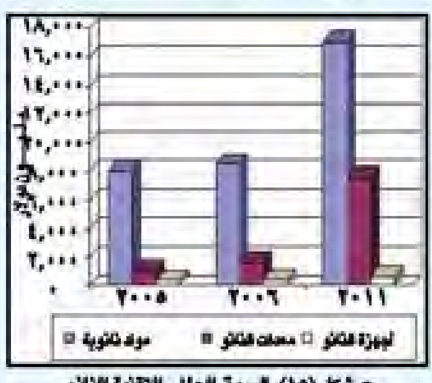
السوق الواقعي لتقنية النانو

بلغ السوق العالمي لمنتجات تقنيات النانو حوالي ٩,٤ بليون دولار في عام ٢٠٠٥م، وأكثر من ١٠,٦ بليون دولار في عام ٢٠٠٦م، وأنه من المتوقع أن ينمو إلى حوالي ٢٥,٢ بليون دولار في عام ٢٠١١م، أي بمعدل نمو سنوي ١٩,١٪ مابين ٢٠٠٦-٢٠١١م، وهذا يتضمن تطبيقات المواد النانوية التجارية، مثل مالئات الكربون الأسود لأحبار الطباعة، والمحفزات النانوية الرقيقة المستخدمة في المحولات الحفزية، والتقنيات الجديدة، مثل: مضافات مواد إضافة لوقود الصواريخ، ومعالجات الجسيمات النانوية، والأدوات الليثوغرافية النانوية، والذاكرة الإلكترونية النانوية.

احتلت المواد النانوية بشكل خاص الجسيمات النانوية والتركيبات النانوية الحيز الأكبر في سوق تقنية النانو في عام ٢٠٠٥م، حيث وصل سوق تقنية النانو إلى أكثر من ٨٦٪، وقد احتلت الأدوات النانونية حوالي ١٠٪، والأجهزة النانوية ٤٪، التي تحتوي على أدوات المونوليث المستخدمة في إنتاج الجيل الثاني من أنصاف النواقل ٤٪ حيث من المتوقع أن تنمو بشكل أسرع من معدل نمو الأجهزة النانوية، وكنتيجة لذلك فإن مساهمتها في السوق ستزداد إلى ٣٠٪ في عام ٢٠١١م.

كانت تقنيات النانوية للاستخدامات النهائية في مجال البيئة الأكثر مبيعات في عام ٢٠٠٥م، حيث احتلت ٣٢٪ من السوق الكلي، يليها مجال الإلكترونيات ٢٤٪، ومجال الطاقة ١٥٪، وتطبيقات الطب الحيوي ٥٪. ومن المتوقع أن تكون تطبيقات الإلكترونيات والطب الحيوي الأكثر نمواً مقارنة بالتطبيقات الأخرى خلال السنوات الخمس القادمة، وكنتيجة لذلك فإن مساهمة الإلكترونيات في سوق تقنية النانو سوف تنمو إلى أكثر من ٥٠٪ في عام ٢٠١١م. ومن المتوقع انخفاض التطبيقات البيئية بشكل حاد إلى ١٣٪ في حين ستنخفض مساهمة التطبيقات في مجال الطاقة إلى ٩٪. ويبين الشكل (١٥) السوق العالمي لتقنية النانو.

المصدر: BCC Source



● شكل (١٥) السوق العالمي لتقنية النانو ما بين ٢٠٠٥-٢٠١١م



شهدت السنوات الأخيرة تطوراً ملموساً في تقنيات وقدرات الإلكترونيات والضوئيات خاصة في مجال شبكات الاتصال والعديد من الأجهزة الإلكترونية التي تبنى على أساس تقنيات تعتمد على رفع قدرات المواد ، والتصميم، والتصنيع. وتتواصل جهود العلماء والمهندسين في الوقت الحاضر لتطوير الإلكترونيات والضوئيات في مستوى النانو متر (واحد من البليون من المتر) للصناعات الاستهلاكية حالياً، وذلك بسبب التكلفة العالية، وطول المدة اللازمة لتطوير تلك التقنيات، وتصميم النظم والأجهزة الصناعية المتعلقة بها .

في الماضي كان تطور الإلكترونيات والضوئيات يعتمد على خواص أشباه الموصلات والليزر على مستوى المايكرومتر (واحد من المليون متر)، أما في الوقت الحاضر فقد أصبح لتقنيات النانو المتعددة الدور الرئيس والملموس في تطور الإلكترونيات والضوئيات، حيث أصبح تصميم وصناعة الإلكترونيات يعتمد على طريقتين هما:

١- طريقة من الأعلى للأسفل (top-down approach): وتعتمد على محاولة تصغير الأجزاء للتصميمات الحالية ، والتعامل مع المشاكل الطارئة ، وبالتالي حدوث التطور كما في قانون **مور***.

٢- طريقة من الأسفل للأعلى (bottom-up-approach): وتعتمد على إنشاء النظام أو الجسم بشكل معين باستخدام خواص مكتشفة للمكونات، كما في أنابيب الكربون النانوية .

يتناول هذا المقال التطور الملموس الذي تشهده صناعة الإلكترونيات والضوئيات باستخدام تقنية النانو .

تطور الإلكترونيات

مرت الإلكترونيات بمراحل عديدة خلال القرن الماضي إلا أن التطورات المتسارعة في تقنيات النانو – بعد ثورة الحاسب الآلي والاتصالات – أدت إلى اكتشافات كثيرة لم تستطع الصناعة اللحاق بكثير منها، لان أغلبها لايزال بحاجة إلى تطوير للحصول على الفائدة الاقتصادية والأدائية .

ويمكن إيجاز تطور الإلكترونيات في مراحل محددة هي :

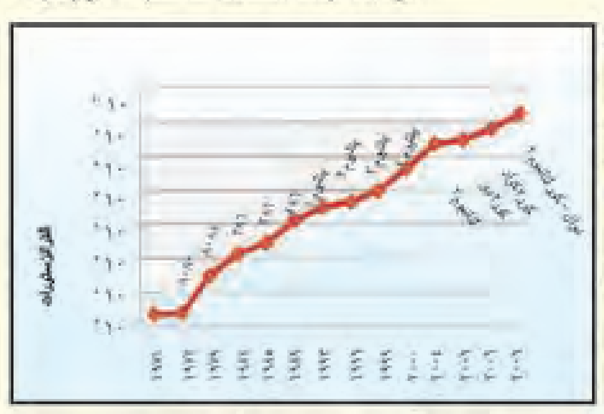
١ – المرحلة الأولى : وهي مرحلة اكتشاف الخواص الإلكترونية للمواد واختراع الأدوات الإلكترونية الأولية، مثل : الصمامات المفرغة (Vacuum Tubes) والتي تركزت في بداية القرن العشرين الميلادي .

٢ – المرحلة الثانية : وقد اشتملت على تطوير المعرفة بخواص المواد واختراع الترانزستور (Transistor) عام ١٩٤٧م.

٣ - المرحلة الثالثة : وقد تمثلت في اختراع الدوائر المتكاملة (Integrated Circuits-IC) في عام ١٩٥٩م ، وهي عبارة عن قطعة صغيرة جداً أدت إلى اختزال أحجام العديد من الأجهزة، ورفع كفاءتها وزيادة وظائفها .

٤ - المرحلة الرابعة : و هي المعالجات الصغيرة ، والتي أحدثت ثورة هائلة في مجال الإلكترونيات ، مما أدى إلى إنتاج الحاسبات الشخصية، والرقائق السليكونية التي أحدثت تقدماً هائلاً في العديد من المجالات العلمية والصناعية. وقد أنتج أول معالج مركزي في عام ١٩٧١م، ومنذ ذلك الوقت تطورت الإلكترونيات بشكل يمكن تمثيله بقانون **مور** ، والذي يبنى على ملاحظة تطور صناعة الحاسبات وعلاقتها بعدد الترانزستورات التي تسمح التقنية الحديثة بجمعها على شريحة واحدة بتكلفة منخفضة، حيث قدر **مور** عام ١٩٦٥م أن عدد الترانزستورات يتضاعف كل ١٨ شهراً بينما يتتابع هذا التضاعف كل سنتين.

شكلت هذه الملاحظة خارطة لدفع عجلة التقنيات ، ويمكن مشاهدة استمرارية قانون **مور** حتى يومنا هذا من خلال شكل (١) الذي يبين عدد الترانزستورات لأجيال من المعالجات المصنعة للمستهلك من إنتل.



● شكل (١) زيادة أعداد الترانزستورات مع أجيال معالجات من إنتل.

* مور هو أحد مؤسسي شركة إنتل (Intel)

٥ - **المرحلة الخامسة :** وهي المرحلة الحالية المعروفة باسم عصر تقنية النانو ، والذي يدرس في الخواص الذرية للمادة.

تقنيات النانو والإلكترونيات

اسهمت تقنيات النانو في تطوير الإلكترونيات مثلها مثل سائر المجالات الأخرى، حيث انها تسعى إلى فهم خواص المواد والأنظمة على مستوى النانو، والتي بدورها تساعد على تطوير التصميم والصناعة التي تحتاج إلى تصغير مستمر لمواكبة متطلبات الحياة، كما تؤدي إلى تطوير الأداء وتقليل التكلفة. ومن أهم التقنيات الإلكترونية التي تأثرت بتقنية النانو مايلي :

• **تقنية المعلومات**

تعد تقنية المعلومات (Information Technology-IT) من أكثر المنتجات الاستهلاكية تأثراً بتطورات تقنية النانو، لأنها أثرت في تصميم وتصنيع الأجزاء والأنظمة الإلكترونية التي تعتمد عليها تقنية المعلومات . ظهر هذا التأثير في مجال معالجة البيانات وتخزينها ونقلها، ومن أهم المكونات التي تأثرت بتقنية النانو مايلي:-

* **السليكون :** إذ تعتمد عليه الأجهزة الإلكترونية منذ وقت طويل وستظل كذلك خلال المستقبل المنظور ، إلا أن صناعة الإلكترونيات باستخدام السليكون تطورت إلى درجة يمكن معها العمل على مستوى الذرات في النمذجة والتكبير على الرقاقات.

***تصغير الترانزستور:** حيث استفاد مجال معالجة البيانات من التصغير المستمر لأحجام الترانزستورات عن طريق زيادة عددها في نفس الحجم أو المساحة، مما أدى إلى زيادة الترددات ، وبالتالي تحسين أداء المعالجات.

جيل الدقة (نانو متر)	العام المتوقع إطلاقه
٩٠	٢٠٠٤م
٦٥	٢٠٠٧م
٤٥	٢٠١٠م
٣٢	٢٠١٣م
١٨	٢٠١٨م

• جدول (١) أجيال دقة صناعة الإلكترونيات.

* **تصغير المسافة بين الترانزستورات :** حيث شهدت صناعة وحدات المعالجة المركزية – أكثر الإلكترونيات الاستهلاكية تعقيداً – تطوراً شمل أجيالاً متعددة من خلال تقليل المسافة التي تفصل الترانزستورات بعضها عن بعض ، لأنه كلما قلت المسافة المساوية لنصف المسافة بين توصيلتين فلزيتين في خلية ذاكرة (DRAM) زادت دقة التقنية المستخدمة في الصناعة . يوضح جدول (١) أجيال تلك التقنيات والتي تتبعها أغلب صناعات الإلكترونيات الدقيقة .

* **عازل البوابة :** حيث تعدى مصنعو المعالجات المركزية في الوقت الحاضر خارطة مور الزمنية إذ تمكنوا من تطوير تقنية ٤٥ نانو متر الصناعية – كان متوقعاً الوصول إليها في عام ٢٠١٠م– باستخدام الهافنيوم (Hafnium) كعازل للبوابة (Gate) في الترانزستورات بديلاً أو مشتركاً مع السليكون لتكوين أكسيد مناسب.

تكمن أهمية العازل الجديد في التقليل من تسريب التيار الكهربائي عند الصمام (Gate Leakage Current) في حالة تقليل سماكته وتقليل جهد العتبة (Threshold Voltage) اللازم، إضافة إلى تسهيل مرور الإلكترونات من المصدر (Source) إلى المصرف (Drain) . وتؤدي هذه الفوائد وغيرها إلى تقليل الطاقة المفقودة ، وبالتالي تقليل الحرارة الناتجة ، كما تؤدي إلى زيادة سرعة وصول النتيجة، والتي كانت تشكل عوائق التصغير . وقد مهد التسارع في الأجيال المتعاقبة للتقنيات إلى إمكانية زيادة عدد النويات (Cores) للمعالجات المركزية، وبالتالي تحسين الأداء.

* **الذاكرة العشوائية النانونية** (N.Ram): وهي تقنية جديدة استخدمت في صناعة الذاكرة العشوائية ، تم انتاجها بواسطة شركة (Nantero) . تعتمد هذه الذاكرة على تأثير أنابيب الكربون النانوية التي تمر فوق سطح مستوى، وتكون ملامسة له أو شبه منفصلة به عمودياً بفضل تفاعلات **فاندرفالز** (Vander waals) على مستوى تجاذب وتنافر الذرات . تمثل الأنابيب الكربونية المشدودة حالة تخزين صفر، بينما تمثل تلك المتدلية حالة تخزين واحد،



• شكل (٢) منظر مقطعي مبسط للمبدأ المعتمد في صناعة (NRAM).

شكل (٢). وقد أدى عدم استخدام (Flip-Flops) للتخزين إلى حماية هذه التقنيات من التأثر بالإشعاع.

• الحساسات

تعمل الحساسات (Sensors) على تحويل الطاقة إلى إشارة إلكترونية أو العكس، لتصل دقتها إلى درجة عالية عند استخدام تقنيات النانو في تصميمها.

وتتميز الحساسات النانوية بعدم تأثيرها على الجسم المختبر بالإضافة إلى الدقة العالية في النتائج، وقابلية استخدامها لقياس العديد من الخصائص، ولكن تصميمها يحتاج إلى حل المشاكل، مثل تقليل أثر الاتصال مع المادة المختبرة، وتبادل الحرارة، والتعامل مع إشارات الضوضاء على مستوى شديد الدقة، والتآكل الشديد. وتستخدم الحساسات فيمايلي:

* **الذاكرة القرصية:** حيث يعتمد تخزين البيانات في الذاكرة القرصية على تصغير الأجزاء الإلكتروميكانيكية المكونة لها، فمثلاً: يغطى القرص غير المغناطيسي داخل القرص الصلب بطبقة ممغنطة بسمك ذرات قليلة، كما يرتفع ذراع القارىء فوق القرص بمسافة ٢٥ نانو متر.

أدى تصغير الحجم إلى زيادة مساحات التخزين وتقليل تكاليف التصنيع بواقع ملايين المضاعفات خلال ربع القرن الماضي.

* **المجاهر:** ومنها مجاهر المسح المجسي (Scaning Probe Microscopes - SPM) والمجهر النفقي الماسح (STM) الذي يجب أن يكون فيه عرض الرأس الماسح ذرة واحدة لإتمام ظاهرة حركة الإلكترون النفقية من السطح المراد رؤيته. تساعد مجاهر المسح المجسي على دراسة التركيبات النانوية وتطويرها.

* **الطب:** وقد تم إنتاج حساسات تماثل اللمس البشري في الدقة. تستخدم هذه الحساسات طبقة من سلفيد الكادميوم (CdS) شبه الموصل بسمك ٣ نانومتر يتم من خلال حساب الضغط الحاصل على السطح بقياس الضوء المنبعث منه. يمتاز هذا التصميم بسهولة التصنيع، إضافة إلى انه يمكن استخدامه في عمليات إزالة الانسجة السرطانية، كما يمكن تطوير هذه التقنية لتشمل إضافة حاسة اللمس للروبوتات وغيرها.

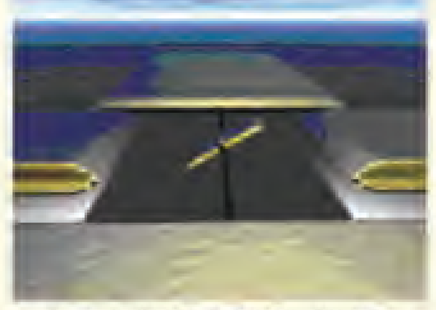
* **وزن الأجسام:** وقد تمكن الباحثون من تصميم ميزان عن طريق وضع جسيم من الكربون على انبوب كربون نانوي، وعبر خاصية صلابة الأنبوب العالية على طوله تمكنوا من حساب وزن الجسيم عن طريق تمرير شحنه كهربائية عبر الانبوب، وقياس التغير في تردد الاهتزاز الرنيني له بوجود الجسيم وبدونه، شكل (٣).

• المشغلات

مهد تطور المشغلات (Actuators) إلى



• شكل (٣) ميزان للجسيمات الصغيرة.



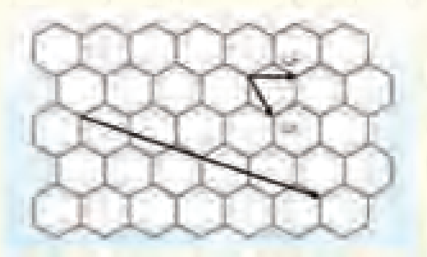
• شكل (٤) (NEMS) باستخدام انبوب كربوني.

ظهور تطبيقات الأنظمة الإلكتروميكانيكية النانوية (Nano Electro Mechanical System- NEMS) والتي تعد تطوراً للمشغلات على مستوى المايكرو (MEMS) وقد تكون جزءاً منها في المستقبل القريب.

لقد تم تطوير الأنظمة الإلكتروميكانيكية النانوية باستخدام انبوب كربون نانوي متعدد الجدران كعمود لنقل الشحنة، إضافة إلى أنه متحرك لحمل سطح فلزي محاط بثلاثة اقطاب ساكنة، شكل (٤). يمكن تحريك السطح الفلزي عن طريق التحكم بفرق الجهد على العمود والاقطاب حتى ٥ فولت، وبذلك تم استخدام حركة السطح في التحكم في حركة المواد أو للضوء كمرآة.

• طرق التصميم

تتميز أنابيب الكربون النانوية بخصائص توصيل التيار الكهربائي بحسب تركيبها عند تكوينها، وذلك حسب

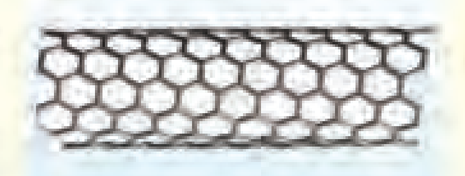


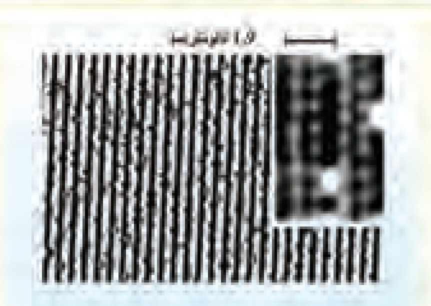
• شكل (٥) الخلايا المكونة لجدار انبوب كربون نانوي وحيد الجدار

اتجاه محور في الخلايا المكونة لجدارها، شكل (٥) . فإذا كان الفرق أحد مضاعفات الثلاثة ، يكون الأنبوب فلزياً ، وعندئذ فإنه يمتاز بقدرة توصيل عالية – مقاومته شبه منعدمة – تزيد ألف مرة عنه في النحاس والفضة . أما إذا كان الفرق غير ذلك ، فإن الأنبوب يكون شبه موصل.

تم بواسطة تقنيات النانو انتاج أنابيب كربونية لها خصائص التوصيل الكهربائي حسب تركيبها عند تكوينها وحسب اتجاه محور على الخلايا المكونة لجدرانها، شكل (٦). وعندما يكون الأنبوب فلزياً فإنه يمتاز بقدرة توصيل عالية تزيد ألف مرة عنها في النحاس والفضة . تم أيضا تطوير أسلاك نانوية من أشباه الموصلات كالسليكون والفلزات (النيكل،البلاتين، التيتانيوم) ؛ حيث أن أسلاك السليكون النانوية مهدت بشكل كبير لصناعة الدوائر المعقدة والترانزستورات . يوضح شكل (٧) سلك نانوي يتكون من سلسلة جزئية من السليكون .

سهلت أسلاك السليكون النانوية بشكل كبير صناعة الدوائر المعقدة والترانزستورات ، إلا أنها تعد أقل صلابة من الأسلاك المصنوعة من أنابيب الكربون


● شكل (٦) سطح لأنبوب الكربون النانوي مطوياً على المحور.


● شكل (٧) سلاسل جزيئية من السيليكون تشكل أسلاك نانوية.

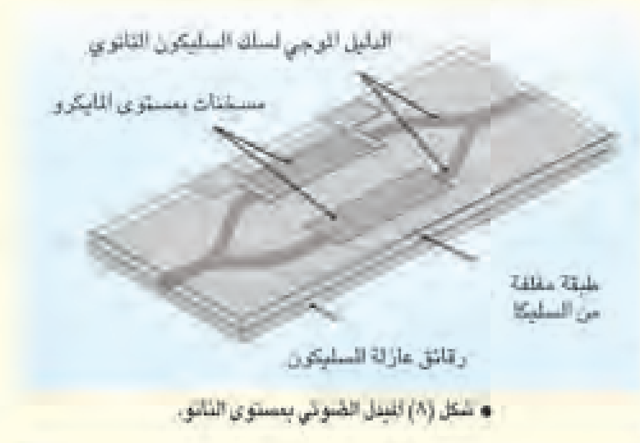
النانوية.

تواجه الإلكترونات مشاكل بسبب صغر قطر أسلاك النانو المصنوعة من النحاس أو الالمنيوم حيث تحتاج الإلكترونات إلى مسار حر بمعدل معين لأنها تحصر حركة الإلكترون في قطر أقل من المطلوب ، لذا يقل التوصيل في أسلاك النحاس ذات القطر أقل من ٤٠ نانومتر . أما أنابيب الكربون النانوية فإنها لاتواجه هذه المعضلة ، لأن الإلكترونات تنتقل فيها بطريقة النقل البالستي .

يعد تطوير طرق تصنيع الترانزستور باستخدام أسلاك أو أنابيب الكربون النانوية من أكثر المجالات حركة ، لأن أسلاك وأنابيب الكربون النانوية تمتاز بتركيب بلوري منتظم ، وبالتالي قدرة توصيل عالية ، بينما يقل توصيل أسلاك النحاس وغيرها من الفلزات في الصورة النانوية ، وبالتالي تقل سرعة الأجهزة المبنية عليها مقارنة بتلك الأجهزة التي تعتمد على أنابيب الكربون .

يعمل مصممو دوائر التكامل الفائق (Very Large Scale Integration -VLSI) على تطوير التصاميم شديدة التعقيد التي تعمل كنواة للأجهزة الإلكترونية فائقة السرعة . لذا يضع مصممو دوائر التكامل الفائق طرق الصناعة في الحسبان عند التصميم ، التي في الغالب تستخدم الطباعة الضوئية (Photo - Lithography)، كما تم تطوير مبدل ضوئي (Optical Switch) كدليل موجي يمر عبر أسلاك سليكون نانوية باستخدام التأثير الحراري الضوئي على مساحة ١٠×٤ نانومترمربع، شكل (٨).

يمتاز السليكون بمعامل انكسار (Refractive Index) عالي (٣,٥) مقارنة بالمواد المحيطة ، مما يجعل عملية تحديد المسار للضوء قوية خلاله ويسمح بأقطار التفاف صغيرة تبلغ بضعة مايكرومترات . يعمل المبدل على رفع درجة حرارة المسارات المطلوبة، وبالتالي تغيير مؤشر الانكسار لها، مما يؤدي إلى عدم توصيلها للموجة، لذا يمكن تطوير أجزاء شبكات الاتصال أو



● شكل (٨) المبدل الضوئي بمستوى النانو.

الحوسبة الضوئية مستقبلاً باستخدام خواص المواد على مستوى النانو.

تطور الضوئيات

يعد العالم المسلم **الحسن بن الهيثم** مؤسس علم الضوء ،حيث احتوت مؤلفاته على تجارب المرآيا والعدسات ،وهي التي اعتمدعليهاعلم الضوئيات ووضع فيها **نيوتن** كتابه الشهير (الضوئيات) في القرن الثامن عشر الميلادي واضحت تدرس منذ ذلك الحين .

بدأ علم الضوئيات الحقيقي في الثلث الأول من القرن العشرين، وذلك باكتشاف **اينشتاين وبلانك** لنظريات وتطبيقات الفيزياء الحديثة، كما تم التحكم بالبث في الطيف الكهرومغناطيسي بترددات مختلفة. أما في الثلث الثاني من القرن العشرين فقد ظهرت اختراعات عديدة منها ،المجهر الإلكتروني، الليزر، الألياف البصرية والحاسبات ؛ مما أسهم في تطور علم الضوئيات .

وفي عام ١٩٦٠م تم بناء أول جهاز يصدر أشعة ليزر، وكان يستخدم عموداً من الروبي (نوع من الأحجار الكريمة) ، كما كان تطور الحزم الصورية أساسا للألياف البصرية واقتراح استخدامها في الاتصالات عام ١٩٦٦ م . تلى ذلك تطورات عديدة في هذا المجال نتيجة لاستخدام مواد أخرى.

في الثلث الأخير بدأت هذه الاختراعات بالتحول إلى تقنيات تستخدم يومياً خصوصاً مع مواكبتها لثورة الحاسب الآلي والإتصالات ، ومن نتائج تطور علم الضوئيات ؛ اختراع الكثير من أجهزة الفحص الطبية والمختبرية ووجود شبكة الإنترنت بالشكل الحالي ، كما شكل اختراع المجهر النفقي الماسح(STM) نقلة نوعية في أبحاث النانو ؛ حيث أمكن بواسطته رؤية المادة على مستوى الذرات . ومع بداية القرن الحادي والعشرين ؛ بدأ الاهتمام بإمكانية إنتاج حاسبات ضوئية لتواكب قرب وصول الحاسبات التقليدية التي تستخدم السليكون من الوصول إلى اقصى حدود التطوير في تصميمها .

الضوئيات والإلكتروضوئيات

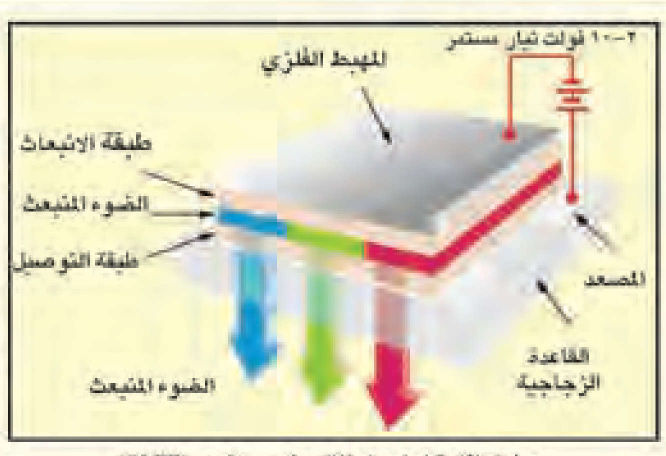
ترتبط الضوئيات بالإلكترونيات بعلاقة وثيقة، حيث تعتمد طريقة الطباعة الضوئية لأكثر الإلكترونيات تعقيداً على إنتاج الليزر للقيام بعملية الحرق اللازمة لإزالة مادة ما على سطح معين لإتمام تصميم الدوائر. وقد تم استخدام فلوريد الارجون لإنتاج ضوء ذو طول موجي ١٩٣ نانومتر، تم بواسطته تطوير الاجيال ذات دقة الطباعة ٦٥ و ٤٥ نانومتر، فيما يسمى بالطباعة الضوئية بالغمر (Immersion photolithography)، وذلك بتمريره بطبقة سائلة مابين المصدر والسطح المصنع، وبالتالي تحسين دقة الطباعة بمعامل يساوي معامل انكسار السائل .

تعد الضوئيات من مجالات تقنيات النانو التي يمكن أن تحدث نقلة نوعية في الأنظمة في المستقبل القريب، لكنها تواجه العديد من المشاكل ومنها إمكانية توجيه الضوء الصادر من المواد المحتوية على فجوات الموجات الضوئية (Photonic band-gaps)، تقوم البلورات الضوئية (Photonic Crystals) المصنعة سواء بالطباعة الضوئية أو بالتكوين الإنشائي بتوجيه الضوء الصادر، وتتكون هذه البلورات من شبكة متكررة من الفراغات في مادة عازلة مصنعة بدقة أقل من ١٠ نانومتر، وبالتالي يعطي تكرار شبكة الفراغات قابلية المادة لنقل الضوء بأي طول موجي معطى.

كذلك تركز دراسات الضوئيات– في الوقت الحاضر– على إنتاج ليزر يستخدم كمصدر للضوء المستخدم في الألياف البصرية وأجهزة المعامل وغيرها، وقد تم في هذا المجال تطوير ليزر من السليكون يقوم بدور التضمين(Modulation) وكدليل موجي (Wave guide) ويحدث ذلك عندما يمرر الليزر إلى الدليل الموجي وبقية الأجزاء المصنوعة من السليكون ،

حيث ينتج ليزر بشكل محدود يمكن التحكم به من خلال التحكم في تركيب السليكون، وذلك بتمرير شعاع أيوني موزع على السطح لإزالة كمية مناسبة من الذرات للحصول على التركيب المطلوب. كما تم استخدام مركبات عناصر المجموعتين الثالثة والخامسة (Group III&IV) التي تنتج الليزر من الطبقة النشطة، مثل: فوسفيد الإنديوم، وزرنيخيد الغاليوم.

تعد تقنية الصمام الثنائي المضيء العضوية (Organic Light emitting diode - OLED) من تقنيات شاشات العرض وتتكون من خمس طبقات هي: طبقة الانبعاث، تليها طبقة التوصيل، ثم طبقة القاعدة، ثم طبقتا المصعد (Anode) والمهبط (Cathode)، شكل (٩).



■ شكل (٩) مقطع لصمام ثنائي مضيء عضوي (OLED).

دور تقنيات النانو في الضوئيات والإلكترونيات

أصبح لتقنيات النانو في الضوئيات فوائد عديدة منها أنها أسهمت في الوصول لمستوى أداء أفضل للمنتجات، واستهلاك كمية أقل من الطاقة والمواد مما يؤدي إلى مواد صناعية ومخلفات بيئية أقل. كذلك ساهمت تقنيات النانو في الوصول إلى مستوى فهم أفضل فيما يتعلق بالمادة، وذلك على مستوى النانو وحتى الجزيئات والذرات والروابط، والفهم الكامل لعلاقاتها مع الطاقة وانتقالها، مما يؤدي في المستقبل إلى ابتكار أنظمة إلكترونية وضوئية جديدة تساهم في تطوير المراحل الصناعية للإنتاج الاستهلاكي، والذي يحتاج في الغالب إلى بيئة مختبرية نظيفة خالية من الشوائب وذات تحكم شديد الدقة والجودة.

المستقبل

يتجه التطور في المستقبل في غالبه لصالح الضوئيات من حيث زيادة القدرة على نقل البيانات لتطوير الحوسبة الضوئية والكمية (Optical/quantum-computing)، وكذلك الشبكات الضوئية بالكامل والتشفير (Quantum cryptography)، والذي يتيح إمكانية نقل البيانات بأمان متكامل. ولكي يتم اعتماد استخدام الضوئيات كبديل كامل للإلكترونيات في تقنية البيانات لابد من تطوير القدرات الحالية للأنظمة.

لقد ظل العامل الإقتصادي يمثل الدافع الأكبر لتطوير صناعات الإلكترونيات والضوئيات؛ لكن ظهور تقنيات النانو في العصر الحديث أدى إلى فتح أبواب جديدة لمراحل قادمة من التطوير، كما أدى إلى توفير الإمكانات لزيادة الأبحاث والتطوير، وكذلك التقليل من مدة تحول التقنيات من طور التطوير إلى الصناعة والإنتاج.

الخاتمة

تعد تقنيات النانو مرحلة مهمة في تاريخ تطور الإلكترونيات والضوئيات؛ حيث أنها نقلت أحجام أجزائها من المحسوس للإنسان إلى أحجام لاترى إلا بالمجاهر الإلكترونية، وكانت هذه المرحلة أساسية لمواكبة الاحتياج المستمر لزيادة قدرات الأنظمة والأجهزة المستخدمة في الحياة اليومية والأعمال المختلفة. وحيث أن هذه التطورات اعتمدت على زيادة الفهم لخواص المادة على مستوى النانو فقد أدت إلى فتح المجال أمام تطبيقات جديدة في شتى المجالات كما في الطب وأجهزة القياس، والحاسبات وأنظمة الاتصال المختلفة.



مرت التطبيقات العسكرية بمراحل عديدة، إلا أن استخدام التقنيات متناهية الصغر في الفترة الأخيرة؛ أحدثت تأثيراً كبيراً عليها، فقد ساعدت في تطوير التجهيزات العسكرية بشكل واضح، مما يعكس اهتمام حكومات العالم ممثلة بوزارات الدفاع في هذه التقنيات؛ لذلك تبذل الدول جهوداً كبيرة لإجراء الأبحاث في مجال التقنية المتناهية الصغر (Nanotechnology) والعمل على تطوير استخداماتها في المجالات العسكرية.

قامت البلدان الآسيوية والأوروبية باستثناء السويد - برنامج الدفاع السويدي لتقنية النانو (Swedish Defence Nanotechnology Programme)- باستخدام تقنية النانو في عدة مشاريع تتعلق بأنشطتها التقليدية للدفاع، مثل مواد البحث، والأجهزة الإلكترونية للبحث. أما بالنسبة للعسكرية الأمريكية: فهي تخطط لاستغلال تقنية النانو في المستقبل من أجل الاستخدام العسكري، ويبذل الأمريكيون جهودهم للحصول على المركز الأول في هذا المجال، ولذا تعد وزارة الدفاع الأمريكية مستثمراً رئيسياً في مجال استخدام التقنية متناهية الصغر في التطبيقات العسكرية، حيث أنفقت ملايين الدورات على استخدامها في المجالات العسكرية، يوضح الشكل (١) إنفاق الولايات المتحدة الأمريكية على التقنية متناهية الصغر في مجال التطبيقات العسكرية من العام ٢٠٠٠م، إلى ٢٠٠٦م. بينما تقدر تكلفة البحوث ذات العلاقة بمخاطر تقنية النانو بمليون دولار فقط.

تتنوع الدراسات التي تبحث في استخدام التقنية متناهية الصغر في النشاط العسكري لتشمل: المتفجرات من حيث تركيبها الكيميائي ومحتواها الداخلي، والأدوية (لكل من الإصابة والعلاج)، والأسلحة الإحيائية والكيماوية، وأجهزة الاستشعار، وتوليد الطاقة الكهربائية وتخزينها، والمواد الهيكلية من أجل المركبات البرية، والجوية، والبحرية، والطلاء، والأقمشة.

هناك العديد من التطبيقات العسكرية التي استفادت من التقنية المتناهية الصغر حتى قادت إلى تفوق الجيوش التي تستخدمها على غيرها ممن تفتقر إليها، ومن تلك التطبيقات ما يلي:

الدرع الفوري

الدروع الفورية (Instant Armors) عبارة عن ملابس عسكرية ذات مواصفات خاصة، تتحول أثناء المعركة إلى سترات مضادة للرصاص حسب طلب الجندي الذي يلبسها، وذلك بتعريضها لمجالات مغناطيسية. وقد استوحى الجيش الأمريكي فكرة هذا النوع من الملابس من فيلم الشبكة (Matrix) والذي يصور بطل الفيلم يدخل في درع واق مرن لحظة إحساسه بالخطر، ويتوقع أحد علماء التقنية متناهية الصغر أن هذا لن يتحقق قبل عشر سنوات.

كرس العلماء في معهد ماساشوتس التقني جهودهم لإنتاج سترة واقية لجنود الجيش الأمريكي، ومن هذه الأبحاث بحث يقوده الأستاذ **جارث ماكينلي** **(Garth Mckinly)** من قسم الهندسة الميكانيكية، حيث بدأ الفريق البحثي بسائل زيتي يتكون من دقائق من الحديد والمغناطيس، والتي يشترط فيها أن تكون



• شكل(١) الإستثمار في التطبيقات العسكرية بالولايات المتحدة (٢٠٠٠-٢٠٠٦م).




● شكل(٢) مادة معالجة نانوياً تستخدم في الدرع الفوري.

ذات أسطح مستوية وليست كروية. يقول **ماكينلي**: نحن نعمل على نوع من السوائل تسمى: سوائل التغير المغناطيسي (Magnetorheological). تتميز هذه السوائل بقدرتها على تغيير خواصها عندما يسلط عليها مجالات مغناطيسية، وأنها تتكون من دقائق صغيرة جداً، أصغر بكثير من كريات الدم الحمراء. يقوم العلماء بخلط هذه المادة في زيت السليكون (Silicon Oil) أو حتى مركّز عصير الذرة (Corn Syrup) لحمايتها من الصدأ، ويجعل المحلول يشبه المايونيز في قوامه، وذا صلابة كافية لمنعه من الجريان، شكل(٢).

عندما عرض الأستاذ **ماكينلي** وفريق بحثه محلولهم ذاك لمجال مغناطيسي: ترتبت دقائق الحديد واصطفت بعضها فوق بعض، فتحول السائل إلى مادة تشبه زبدة اللوز (Peanut Butter) فبدت صلبة جداً. وعند إزالة المجال المغناطيسي عادت المادة في الحال إلى خواصها السابقة في وقت لم يتجاوز ٠,٠٢ من الثانية.

يحاول العالم **ماكينلي** وفريقه :بحث الطرق لوضع هذا المحلول المتقلب في المادة التي تستخدم - في الوقت الحاضر - لصناعة السترات الواقية ضد الرصاص، والتي تصنع في الأساس من نسيج متموج مملوء بالفجوات الهوائية.

وجد الأستاذ **ماكينلي** وفريقه أنه عند غمس النسيج الذي تصنع منه السترات الواقية في سائل التغير المغناطيسي (Magnetorheological) أصبح النسيج ناعماً جداً ومرناً، ولكن عند تعريضه لمجال مغناطيسي أصبح قاسياً وصلباً، وأن هذه الصلابة تزداد مع زيادة قوة المجال المغناطيسي.

ونظراً لأن الجنود الذين يلبسون تلك السترات لن يحملوا معهم مغناطيسات في أرض المعركة، ولذا يقول **ماكينلي** أنه في هذه الحالة يمكن عمل شبكة من الأسلاك ضمن السترة العسكرية مع مصدر لتيار كهربائي، يمكن للجندي أن يشغله للحصول على مجال مغناطيسي، كما أشار **ماكينلي** إلى أن هذا النوع من السترات العسكرية لن يكون متاحاً قبل خمس أو عشر سنوات.

كما أن السترات العسكرية في المستقبل: ستكون مزودة بحساسات متناهية الصغر للكشف عن الحالة الفيزيائية للجندي ، ومعدل نبضات قلبه، وضغط دمه، وعلامات الإجهاد عليه. وعلى ذلك فإن الضباط العسكريين يمكنهم استخدام تلك الحساسات النانوية لتحديد الجنود الجاهزين للمعركة.

كما أن من تطبيقات التقنية المتناهية الصغر في المجال العسكري: التعاون الذي تم بين كل من الكيميائي **تم سواجر** (Tim Swager) والمهندس الميكانيكي **إيان هنتر** (Ian Hunter) من معهد ماساشوتس التقني، حيث تمكنا من تحويل بوليمر نشط كهربائياً (Electroactive Polymer) إلى مشغل آلي، يمكنه أن يعطي قوة حركية مع أي إشارة كهربائية ، مما يعني الحصول على عضلات خارجية تقترب في قدرتها من قدرة العضلات البشرية، إذ يمكنها أن تكون مرنة أو صلبة بحسب الطلب؛ ولذا فإنه يمكن الاستفادة من هذه الظاهرة في القطاع العسكري، فمثلاً لو أن هناك جندياً في المعركة وحدث له كسر في ساقه فإن المادة النانوية يمكنها أن تتصلب لتكوين ما يشبه الجبيرة حول الساق المكسور. أما لو أن جندياً أصيب برصاصة في ذراعه، وبدأ دمه ينزف، فإن هذه المادة يمكنها أن تقوم بدور الضاغط لإيقاف النزيف.

التمييز بين العدو والصديق

تستخدم بعض الأنظمة الإلكترونية الميكانيكية في تمييز العدو من الصديق (Identify friend orenemy-IFOE) في ساحات القتال، بحيث يتم تلافي الحوادث بنيران صديقة.

نجح الجيش الأمريكي في اختبار بطاقة رادار (Radar Tag) صغيرة جداً بحيث لا يتجاوز حجمها حجم علبة السجائر، تثبت على المركبات، فتمكن

الطائرة الحربية من التعرف بسهولة تامة على المركبات الأرضية، من دبابات، وناقلات جنود، ومدفعية، بحيث يمكنها تجنب حوادث النيران الصديقة.

عندما تصدم الموجات الصادرة من رادار الطائرة بهذه البطاقات: فإنها تعيد إرسال إشاراتها الخاصة التي تحدد هوية المركبات على الأرض للطائرة، فتستدل الطائرة منها على أنها قوات صديقة.

يشبه هذا الجهاز في مبدأه نظام التعرف على الصديق أو العدو الذي يسمح للتعارف بين السفن والطائرات الحربية، ولكنه يستخدم للمركبات البرية.

عندما تكتشف البطاقة المثبتة على المركبة إشارات الرادار: فإنها تضيف إليها بيانات خاصة، ثم تعيد إرسالها إلى الطائرة، فتمكن هذه البيانات المضافة رادار الطائرة من التعرف على البطاقة كصديق، وعندما يستقبل الرادار الإشارة فإنه يضيف أيقونة على شاشة عرض قائد الطائرة تحدد أن المركبة الأرضية صديقة.

يقول **أورمشير (Ormesher)** قائد فريق تطوير البطاقة من مختبرات سانديا الوطنية في مدينة البكركي في ولاية نيو مكسيكو: " أن تلك البطاقة لا يمكنها أن تعرف بنفسها رادارات الأعداء، ولا يمكن أن تزودها بتفاصيل، وإنما تنتظر البطاقة الإشارة المعماة من الرادار الصديق، ثم تعرف نفسها باستخدام إشارتها المعماة، باستخدام رمز معين (code)، حتى لا يتمكن العدو من انتحال شخصية الصديق أو استقبال إشارة من بطاقة ليست صديقة".

تمتاز هذه البطاقة بأن تكلفتها قليلة جداً، وبالتالي يمكن وضعها على جميع المركبات البرية العسكرية، وقد تكون في المستقبل أقل تكلفة بحيث يمكن وضعها على كل فرد من أفراد الجيش في ساحة القتال.

الكشف الكيميائي الحيوي

يعد تصغير أجهزة التحليل، مثل أجهزة الكشف عن المواد الكيميائية والإحيائية من صميم التقنية المتناهية الصغر، بحيث يمكن تصغيرها إلى درجة تمكن الجندي من حمل أكثر من جهاز للتحليل الكيميائي والأحيائي والنووي؛ التي يستطيع الجندي من خلالها اكتشاف أي هجوم بتلك المواد من وقت مبكر.

حدثت تطورات هائلة في مجال التقنية المتناهية الصغر يمكن استخدامها في الجيل الجديد من الأسلحة الكيميائية والأحيائية. يمكن لهذه التطورات أن تمهد الطريق لأنواع جديدة من الأسلحة، مما سيكون لها تأثير كبير على المواد الجديدة، والأجهزة الإلكترونية، والأنظمة الميكانيكية والأحيائية والكيميائية.

كما أن التقنية المتناهية الصغر ستفتح الباب واسعاً أمام إمكانية إيجاد حساسات فعالة لاكتشاف ومنع الهجوم، باستخدام الأسلحة الأحيائية والكيميائية، بالإضافة إلى أنها وسيلة فعالة لاحتواء التسربات الكيميائية والأحيائية.

يتوقع العلماء من خلال استخدام التقنية متناهية الصغر: إنتاج حساسات صغيرة ورخيصة الثمن تتميز بالدقة والانتقائية، حيث تستطيع التحسس على مستوى الجزيء الواحد. كما يتوقع أن تساهم حساسات **بيرفاسيف (pervasive)** في تطوير قدرة الدفاع الوطني للاكتشاف المبكر في حالة التعرض لهجوم بالأسلحة الكيميائية أو الأحيائية أو عند حدوث تسرب لها، وزيادة قدرات الإشراف والمراقبة.

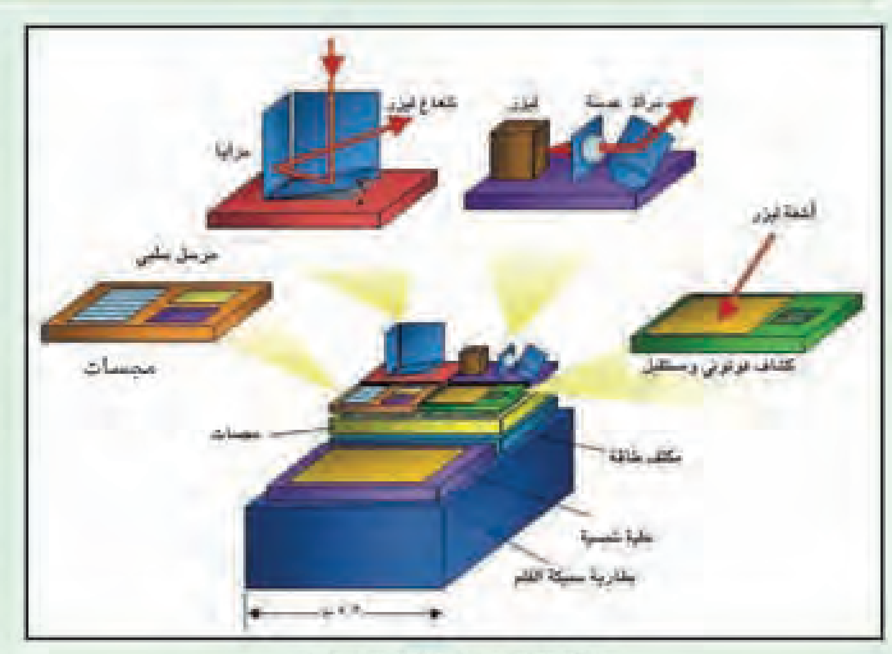
كما تستخدم وزارة الدفاع الأمريكية التقنية المتناهية الصغر في تطوير حساسات للأسلحة الكيميائية والأحيائية على مستوى عال من الدقة، بحيث يمكنها اكتشاف الجزيء الواحد، وذلك لاستخدامها في مراقبة الهواء ومياه الشرب، واكتشاف وجود المواد السامة في البيئة.

المعجلات

احرزت المعجلات تقدماً في العديد من التطبيقات العسكرية والفضائية؛ بفضل انخفاض السعر وتقليل الحجم، وزيادة مدة التشغيل، وفي تقنية النظم الإلكترونية الميكانيكية الدقيقة (MEMS)، وفي الإلكترونيات التكاملية، ومع ذلك لا زال هناك العديد من التحديات التي تنتظر الحلول.

شبكة أجهزة النظم الإلكترونية الميكانيكية الدقيقة

تستخدم شبكة أجهزة النظم الإلكترونية الميكانيكية الدقيقة (MEMS) لتكوين شبكة تدعى الغبار الذكي "Smart dust". تعمل هذه الشبكة على جمع المعلومات عن المبنى المراد مراقبته وما يدور حوله، وكذلك الإحساس بالأجسام القريبة منه. تنشر هذه الشبكة حول المبنى المراد مراقبته، بحيث يمكن بواسطتها



• شكل(٣) آلية عمل شبكة الغبار الذكي.

مراقبة حركة الأشخاص حول المبنى، وكذلك المواد الكيميائية أو أي جسم غريب. يبين شكل (٣) كيفية عمل شبكة الغبار الذكي، كما يوضح الشكل (٤) الخارجي للنظم الإلكترونية الدقيقة المستخدمة فيها.

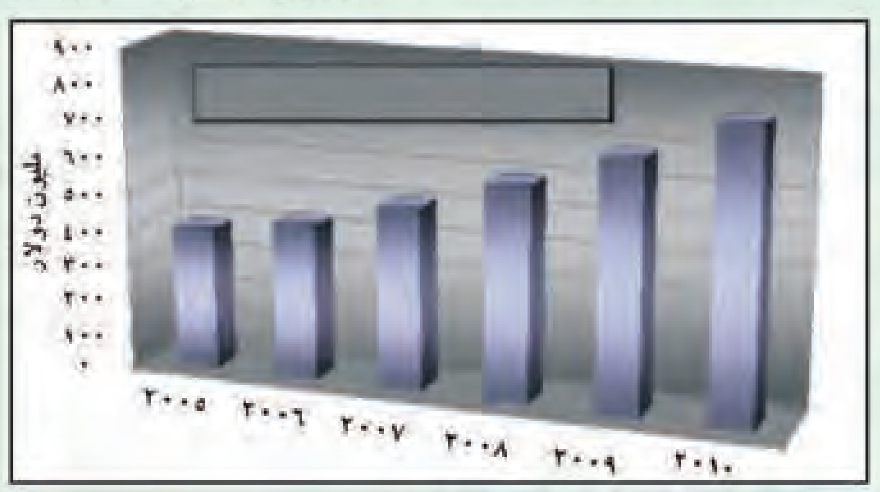
الجيروسكوبات

عرضت الجيروسكوبات (Gyroscopes) الاهتزازية في أوائل الثمانيات، ومن أمثلتها: شوكات الكوارتز الرنانة. يمكن أن تقيس هذه الجيروسكوبات درجات عالية في الضغط الجوي؛ بسبب استعمال الكوارتز كمادة أساسية، ولكن في أواخر الثمانيات بدلت مادة الكوارتز المستخدمة في هذا النوع من الجيروسكوبات: بمادة السيليكون لجودتها العالية وقلة تكلفتها.

يتوقع أن تصبح جيروسكوبات النظم الإلكترونية الميكانيكية الدقيقة (MEMS) التطبيق المهم في صناعة النظم الإلكترونية الميكانيكية الدقيقة (MEMS) في السنوات القادمة، لأنها لها تطبيقات آلية كثيرة ومشهورة، مثل: السيطرة على استقرار الطائرة، والمساعدة الملاحية، وتجنب الاصطدام. كما يوجد لها تطبيقات استهلاكية، مثل: علم الإنسان الآلي، واستقرار آلة تصوير الفيديو، وأجهزة الألعاب الرياضية، والملاحة المستقلة ذاتياً.

لقد حلت جيروسكوبات النظم الإلكترونية الميكانيكية الدقيقة، بدلاً من التقنية القديمة التي تعتمد على النظم الميكانيكية فقط، وأصبحت عنصراً حاسماً لأجهزة السيارات والتطبيقات العسكرية، وعلى هذا: فإنه يتوقع أن تنمو إيرادات جيروسكوبات النظم الإلكترونية الميكانيكية الدقيقة من ٢٨٠ مليون دولار عام ٢٠٠٢م، إلى ٤٠٠ مليون دولار عام ٢٠٠٧م.

تمت صناعة جيروسكوبات النظم الإلكترونية الميكانيكية الدقيقة بسرعة، وخاصة في التطبيقات الآلية، حيث يتوقع أن يصل سوقها في عام ٢٠١٠م، إلى ٨٠٠ مليون دولار. يوضح الشكل (٥) نمو



• شكل (٥) نمو سوق جيروسكوبات النظم الإلكتروميكانيكية الدقيقة .



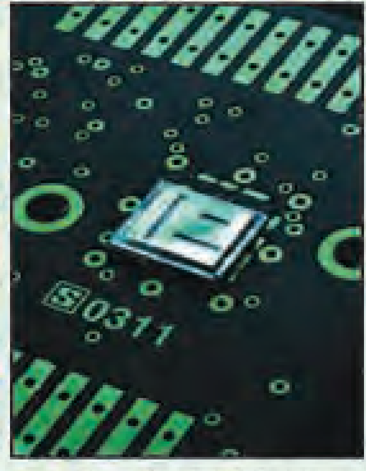
• شكل(٤): الشكل الخارجي لـ MEMS المستخدمة في الغبار الذكي.

سوق تلك الجيروسكوبات خلال الأعوام ٢٠٠٥ م، إلى ٢٠١٠م.

المجســـات الشمســيـة

المجس الشمسي (Sun Sensor) عبارة عن مجس ذو شق متناظر مع الصمام الثنائي الضوئي (Photodiode) يوضح الشكل (٦) الشكل العام للمجس ذو المحور الواحد فقط، كما يوضح الرقاقة مع السليكون على العازل (Soi)، بينما يوضح الشكل (٧) شكله الخارجي.

يوجد على المجس الشمسي غطاء من زجاج البايركس (Pyrex glass) يمنع أشعة الشمس من الدخول إلا عن طريق الشق، بحيث يتم - من خلاله - تزويد الصمام الثنائي بحاجته من الضوء. كما يحتوي المجس الشمسي على رقائق من السليكون، يستخدم الفرق في التيارات الضوئية في الصمام الثنائي لإيجاد زاوية دخول أشعة الشمس. كما يستخدم التيار الخارج من مصدر خلية المستطيل لإزالة المعالم غير المرغوب فيها. كما يمكن أيضاً الحصول على مجس خطي من خلال التلاعب بمصدر الخلية وأبعادها.



● الشكل (٧) الشكل الخارجي للمجس.

مستقبل تطبيقات النانو العسكرية

لا شك إن التقنية متناهية الصغر حقل واسع من العلم والطلبات. يتضمن هذا الحقل التصنيع الجزيئي الدقيق للمواد للحصول على منتجات قوية. إذ من المؤكد أنها ستمثل الثورة الصناعية القادمة، وقد يؤدي ذلك إلى ثورة علمية تعمل على تحول عالم القرن الحادي والعشرين المبكر، سواء كان ذلك في المجالات السلمية المفيدة للبشرية، أو في المجالات العسكرية المدمرة لها.

يقترب مستقبل التقنية متناهية الصغر من الواقع بسرعة كبيرة، ويدل على ذلك النتائج الجغرافية والسياسية والاقتصادية والاجتماعية المتميزة، حيث ستسمح النمذجة السريعة بنسخ منتج وبنائه وتجربته خلال ساعات. كما أن بناء العقاقير بمقياس النانو (Nano scale) سيكون له تأثير مهم على الصناعات المختلفة على مستوى الطلبات المدنية، وأيضاً الطلبات والتطبيقات العسكرية. ففي التطبيقات العسكرية سيجعل من الأسلحة ما هو أقوى من غيرها، ويجعلها بعيدة عن المراقبة، مثل: طلاء الطائرات الحربية بمواد نانوية يخفيها عن أجهزة المراقبة وعدم اكتشافها، إضافة إلى أن هذه التقنية أدت إلى تطوير أسلحة الطائرات.

الخـــاتمـــة

قد يكون لتطبيقات التقنية متناهية الصغر في المجالات العسكرية مضار، حيث يريد بعض العلماء العسكريين استخدام محاربين يستخدمون بنادق تطلق الصواريخ الموجهة الذاتية الصغيرة، أو يبعث رجال آليين وطائرات وشبكات حساسة دقيقة تستخدم في الكشف والحراسة، وإعداد الخوذ التي تزود الجندي بالمعلومات والتعليمات. وبالرغم من ذلك فإن لها تطبيقات كثيرة مرغوبة في المجالات السلمية كالطب، والزراعة، والبناء، وغيرها.



● الشكل (٦) رسم للمجس الشمسي ذي المحور الواحد فقط. (أ) منظر من الأعلى (ب) منظر للقطع

المصادر

1- http://www.mina.ubc.ca
2- http://www.azonano.com
3- http://www.sensorsportal.com
4- http://www.sensorsmag.com
5- http://www.analog.com
6- http://www.sciencedirect.com
7- http://www.zyvex.com
8- http://nepp.nasa.gov
9- http://www.aticourses.com
10- http://www2.fep.tsure.ru
11- http://www.scienceblog.com



كتب صدرت حديثا

الطب البديل

قام بتأليف الكتاب د. **ضحى محمود بابللي** وقامت بنشره مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية في العام ١٤٢٨هـ ويبحث في ماهية الطب البديل وأساليبه وهل يعتبر الطب البديل فعالاً في علاج الأمراض أم لا؟.

يشير الكتاب إلى أنواع العلاجات البديلة التي اثبتت فائدتها بالأبحاث العلمية والأنواع المنتشرة منها في البلاد العربية بشكل عام وفي المملكة بشكل خاص مع الإشارة إلى منافعها وبعض أضرارها، تبلغ عدد صفحات الكتاب ١٦٢ صفحة من القطع المتوسط مقسمة إلى تمهيد وخمسة عشر فصلاً وهي كالتالي: العلاج بالرقى الشرعية، والعلاج بالعسل ،والعلاج بالحجامة، والعلاج بالإيحاء، والعلاج بالإبر الصينية، والعلاج بالماء، والعلاج المثلي، والعلاج بالتغذية ،ورد الفعل الحيوي، والمعالجة اليدوية، والتداوي بالنباتات والأعشاب الطبية، والعلاج بالكي والعلاج بالفعل الانعكاسي، والعلاج بالزيوت العطرية، والعلاج بالصوم ومن ثم التوصيات وفهرس الأيات القرآنية ثم فهرس الاحاديث النبوية الشريفة وختاماً المراجع العربية والأجنبية.

دليل علاج القولون وأمراض المعدة والأمعاء

صدرت الطبعة الأولى للنسخة العربية من هذا الكتاب عن مكتبة جرير عام ٢٠٠٦/١٤٢٧هـ، وأعيدت طباعته ثانية عام ١٤٢٨/٢٠٠٧م وهو من تأليف **شيت كوينغام** ويبلغ عدد صفحات الكتاب ٢٣٤ صفحة من القطع الصغير، ويحتوي على اربعة وعشرين فصلاً وهي كالتالي: مكونات القناة المعدية المعوية، والأعراض التي تصيب الجهاز الهضمي وشرح متلازمة القولون العصبي، والغازات والانتفاخ، والمريء والحموضة، والغثيان والقيء، وآلام المعدة الخاوية، وآلام المعدة الممتلئة، والإسهال، والإمساك، والحكة الشرجية، والنظام الغذائي وعلاقته بمتلازمة القولون العصبي، وامراض القناة الهضمية، ومشكلات المرارة، وداء الرداب والتهاب الرداب، ومرض التهاب الامعاء، وامراض المريء، والديدان والطفيليات ،وسوء الامتصاص، والبواسير، والتهاب الزائدة الدودية، وسرطان القناة الهضمية، وسبل العلاج غير التقليدي، وطريقة حساب كمية الدهون، وعدد السعرات الحرارية.

الأقمار الأصطناعية

هذه هي الطبعة الاولى لعام ٢٠٠٧/١٤٢٨هـ عن دار دجلة للنشر والتوزيع بالأردن والعراق، وهو من تأليف **صالح مصطفى الأتروشي** من كلية الهندسة بجامعة دهوك، إقليم كردستان العراق، وتبلغ عدد صفحات الكتاب ١٠٣ صفحة من القطع المتوسط ويتناول هذا الكتاب دراسة مبادىء أولية عن الاقمار الاصطناعية وكيفية إطلاقها إلى الفضاء باستخدام الصواريخ أو المكوكات الفضائية لتدور في مدارات معينة حول الكرة الأرضية، ويحتوي الكتاب على سبعة فصول هي: مدخل إلى الأقمار الاصطناعية، منظومات الأقمار الاصطناعية، شبكات الاتصالات للاقمار الاصطناعية، المدارات الفضائية للاقمار، الهيكل التصميمي للقمر الاصطناعي، إطلاق الأقمار الاصطناعية إلى الفضاء، المحطات الأرضية للاقمار الاصطناعية، ثم قائمة المراجع الأجنبية.



الليـــــزر

عرض : أ. محمد بن صالح سنبل

صدر هذا الكتاب عن دار دجلة للنشر والتوزيع بالأردن عام ١٤٢٨هـ ـ ٢٠٠٧م، ويقع الكتاب في ٢٨٩ صفحة من الحجم المتوسط، وقام بتأليفه كل من د. يوسف مولود حسن والأستاذ صالح مصطفى الأتروشي من كلية الهندسة بجامعة دهوك ـ كردستان العراق.

ينقسم الكتاب إلى عشرة فصول يتناول **الفصل الأول** "بصريات تمهيدية في الليزر" حيث تطرق المؤلفان إلى نظريات الضوء والدور التمهيدي لها في اكتشاف الليزر بداية من نظرية اللمس مروراً بنظرية الانبعاث ونظرية **نيوتن**، ثم نظرية **بارتولينوس** لتفسير ظاهرة الانكسار المزدوج في البللورات، تلتها النظرية الموجية للعالم **هويكنز** التي عمرت طويلاً، ثم ظهرت النظرية الكهرومغناطيسية للعالم **ماكسويل**، جاءت بعد ذلك نظرية الكم للعالم **ماكس بلانك**. ثم انتقل المؤلفان لتوضيح بعض خصائص الضوء ابتداء من تداخل الضوء وأنواعه ثم ظاهرة انكسار الضوء والقوانين الفيزيائية للشعاع الضوئي المنكسر، وبعد هذه الظاهرة أشار المؤلفان إلى ظاهرة الاستقطاب. بعد ذلك تطرق المؤلفان إلى الضوء وصفة التشاكه (فرق الطور الثابت بين أي نقطتين على موجة شعاع الليزر عند حركة الشعاع زمانياً ومكانياً) وما هو التشاكه الزمني والتشاكه الفضائي، وكيفية حساب زمن التشاكه بواسطة مقياس التداخل **لمايكلسون**. ومن ثم أشار المؤلفان إلى تجربة الشقين **لتوماس يونك**، وبعد ذلك كان هناك شرح مبسط لمقياس التداخل الفابري ـ بيرو لدراسة التداخل بين الحزم المتعددة، وختم هذا الفصل بالحديث عن إشعاع الجسم الأسود.

تناول **الفصل الثاني** "مدخل إلى الميزرات والليزرات" دراسة الذرات والجزيئات ومستويات الطاقة لها، وعملية الانبعاث والامتصاص، ودراسة المنظومات الذرية والجزيئية ـ توزيع **بولتزمان** والتوزيع العكسي ـ وكيفية خزن الطاقة في هذه المنظومات على شكل فوتونات متقطعة، كما تطرق هذا الفصل إلى كيفية تضخيم الموجات الكهرومغناطيسية، وإلى الميزرات وأنواعها (ميزر الأمونيا والميزرات ثلاثية المستوى).

خصص المؤلفان **الفصل الثالث** لموضوع "توليد الليزر" الذي بدأت فكرة توليده عام ١٩٥٨م، باستخدام وسط فعال بين مرآتين عاكستين ولم تفلح التجربة. ثم في عام ١٩٦٠م حيث انطلق أول شعاع ليزر، أما ليزرات أشباه الموصلات فقد نشأت عام ١٩٦٢م، بينما صممت الليزرات السائلة الكيميائية في أوائل عام ١٩٦٣م. ثم تطرق المؤلفان إلى مكونات أجهزة الليزر والوسط الفعال المستخدم فيها. ومن ثم العلاقات الرياضية التي وضعها **اينشتاين** والتي تصف عملية تفاعل الضوء من الوسط الفعال المتوازن حرارياً. بعد ذلك أشار المؤلفان إلى المرنان الليزري، مكوناته ومهمته كعنصر أساسي لأجهزة الليزر، ومن ثم حسابات مرنان الليزر النظرية وتقسيم استقرارية المرنان الليزري من الناحيتين العلمية والعملية، ثم موضوع تقنيات الضخ كمستلزم رئيسي لمنظومة الليزر وأنواع تقنيات الضخ، وهي:- الضوئي والكهربائي، والكيميائي، وآلية تضخيم الانبعاث المحفز، وختم المؤلفان هذا الفصل بتصنيف المنظومات الليزرية (ثلاثية المستوى ورباعية المستوى).

تناول **الفصل الرابع** "خرج الليزرات" عدة مواضيع هي:- الخط الطيفي الليزري من الناحيتين النظرية والعملية، والأنماط الليزرية الطولية والمستعرضة وخصائص كلاً منها. ثم عرض خط الطيف الليزري

ودوره في الحصول على خرج ليزري حاد. بعد ذلك تطرق المؤلفان إلى تقنية ضبط عامل النوعية وعلاقته بالمنظومة الليزرية وأقسام هذه التقنية الميكانيكية، الصوتية، الكهروبصرية، وتقنية الأصباغ العضوية، وتقنية تفريغ المرنان. وختم المؤلفان هذا الفصل بالحديث عن ظاهرة مضاعفة التردد.

تحدث المؤلفان عن **الفصل الخامس** " الليزرات الشائعة " دراسة تطبيقية عن الليزرات الشائعة والمهمة من الناحية التطبيقية حيث يمكن تقسيمها وفقاً لطبيعة الوسط الفعال المستخدم إلى الأصناف التالية:- ليزرات العوازل المطعمة، ليزرات أشباه الموصلات، الليزرات الغازية، والليزرات السائلة. وفي نهاية الفصل أشار المؤلفان إلى الليزرات الأخرى المختبرية.

يستعرض **الفصل السادس** "بعض الاعتبارات التقنية لاستخدامات الليزر " من خلال مقدمة تمهيدية للدخول إلى تطبيقات الليزر، حيث أنه لابد من معرفة الاعتبارات التقنية لشعاع الليزر قبل تناول تطبيقاته العملية كخواص شعاع الليزر، وحزمة الليزر المتجانسة، والتقدير النظري لدرجة الحرارة، وعمق الانتشار الحراري. ثم تطرق المؤلفان إلى أجهزة كشف وقياس خرج الليزر ومنها جهاز البولوميتر، وجهاز الثيرمو بايل، وختم الفصل بذكر منظومات المراقبة والسيطرة على أشعة الليزر.

تطرق **الفصل السابع** إلى دور شعاع الليزر في الاتصالات وإلى كيفية انتقال شعاع الليزر في جو الأرض والفضاء الخارجي وخلال الألياف البصرية التي تستخدم بشكل واسع في الاتصالات ، كما تطرق إلى طرق تضمين أشعة الليزر لإرسال المعلومات عبر المسافات إلى أجهزة الاستقبال الليزرية كالتضمين السعوي ، والترددي ، والتضمين النبضي المشفر ، وكذلك طرق الكشف عن التضمين المستخدمة في المنظومة الليزرية للاتصالات.

تناول **الفصل الثامن** "الليزر مصدر حراري في الصناعة والطب " أشار المؤلفان إلى استخدام الليزر كمصدر حراري في الكثير من التطبيقات الصناعية والطبية كاستخدامه في صناعة الدوائر الإلكترونية المتكاملة، وفي تهذيب المقاومات والمتسعات، وفي تثقيب المعادن وقطعها ولحامها، ومن ثم تطرق المؤلفان إلى منظومة الاندماج النووي واستخدامات الليزر في الطب ، ومميزات الجراحة الليزرية، وأنواع الليزرات الطبية وتطبيقاتها، وأختتم المؤلفان هذا الفصل بالحديث عن الليزر والسرطان.

تناول **الفصل التاسع** " الاستخدامات المختلفة لأشعة الليزر" حيث استعرض المؤلفان استخدامات الليزر كمصدر حراري في الإلكترونيات، والصناعة، والطب، واستخدامه كشعاع متشاكه في الاتصالات، كذلك تناول هذا الفصل الاستخدامات المختلفة لشعاع الليزر، كالتصوير المجسم ذو الأبعاد الثلاثية، وقياس المسافات، وترصيف الأنابيب، ومسح الأراضي وتسويتها، وقياس تلوث البيئة، وفي ختام الفصل تطرق المؤلفان إلى استخدامات الليزر في مجال البحث العلمي وكذلك في الأنشطة العسكرية.

تناول **الفصل العاشر** " التأثيرات السلبية لأشعة الليزر والسلامة المختبرية" التأثيرات السلبية لأشعة الليزر على العين، والجلد، كما تطرق إلى تصنيف الليزرات حسب درجة خطورتها التي تعتمد على الطول الموجي، وقدرة الخرج الليزري، حيث استعرض الفصل في نهايته شروط السلامة المختبرية.

وفي ختام الكتاب أشار المولفان إلى الملاحق، وقسموها إلى ثلاثة ملاحق أولها عن الوحدات والثوابت الفيزيائية، وثانيها عن الرموز العلمية التي وردت في الكتاب، أما الملحق الثالث فكان عبارة عن قاموس للمصطلحات العلمية (عربي - انجليزي)، ومن ثم المراجع العربية والأجنبية.

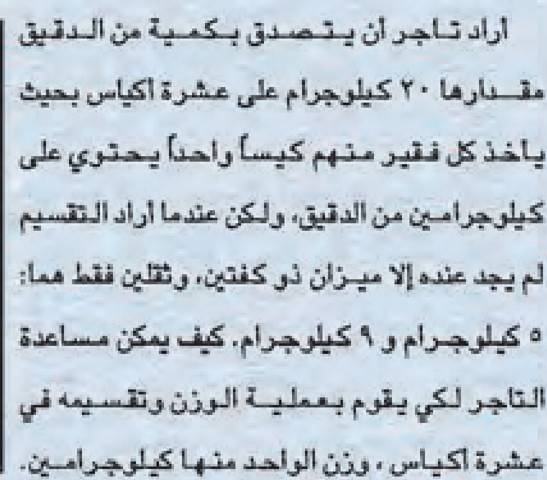
ومن خلال قراءة الكتاب، اتضح أسلوبه البسيط والشامل، واحتوائه على اللمسات التقنية الواضحة والجلية في كافة فصوله، من غير الدخول في المعالجات الرياضية والفيزيائية المعقدة. كذلك وضع المؤلفان ملاحق للثوابت الفيزيائية والوحدات والرموز العلمية مع قاموس (عربي - إنجليزي) للمصطلحات العلمية المستخدمة، مما يسهل على القارىء البحث عن معلومة معينة في الكتاب.

مساحة التفكير









أراد تاجر أن يتصدق بكمية من الدقيق مقدارها ٢٠ كيلوجرام على عشرة أكياس بحيث يأخذ كل فقير منهم كيساً واحداً يحتوي على كيلوجرامين من الدقيق، ولكن عندما أراد التقسيم لم يجد عنده إلا ميزان ذو كفتين، وثقلين فقط هما: ٥ كيلوجرام و ٩ كيلوجرام. كيف يمكن مساعدة التاجر لكي يقوم بعملية الوزن وتقسيمه في عشرة أكياس ، وزن الواحد منها كيلوجرامين.

يجب أن يستخدام كلا الثقلين ؟

أعزاءنا القراء

إذا استطعتم معرفة الإجابة على مسابقة «**تاجر الدقيق**» فأرسلوا إجاباتكم على عنوان المجلة مع التقيد بما يأتي : ـ

١ـ ترفق طريقة الحل مع الإجابة .

٢ـ تكتب الإجابة وطريقة الحل بشكل واضح ومقروء .

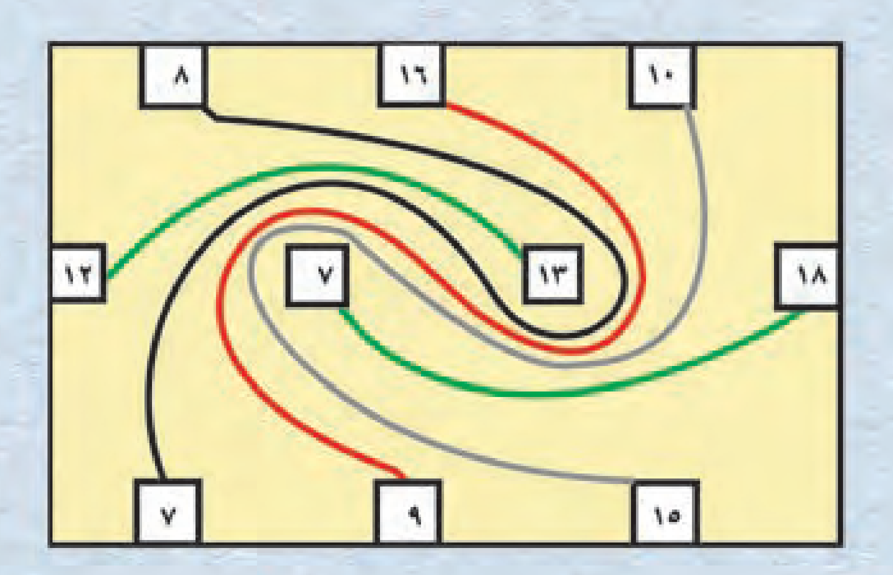
٣ـ يوضع عنوان المرسل كاملاً مع ذكر رقم الاتصال (هاتف، فاكس، بريد إلكتروني).

سوف يتم السحب على الإجابات الصحيحة التي تحتوي على طريقة الحل ، وسيمنح ثلاثة منهم جوائز قيمة ، كما سيتم نشر أسمائهم مع الحل في العدد المقبل إن شاء الله تعالى .

حل مسابقه العدد السابق

توصيل الأرقام

هذا النوع من الأسئلة لا يحتاج حله إلى شرح إذ يمكن توضيحه في الشكل فقط، ولذا فإن الشكل المرفق يوضح لقرائنا الكرام طريقة الحل :



أعزاءنا القراء

تلقت المجلة العديد من الرسائل التي تحمل حل مسابقة **العدد السابق** ، وقد تم استبعاد جميع الحلول التي لم تستوف شروط المسابقة، وبعد إجراء القرعة على الحلول الصحيحة فاز كل من :

١ـ درية صلاح محمود ـ الخرج
٢ـ وليد محمد السويلم ـ الرياض
٣ـ دريهم سعيد كاظم ـ جدة

ويسعدنا أن نقدم للفائزين هدايا قيمة، سيتم إرسالها لهم على عناوينهم ، كما نتمنى لمن لم يحالفهم الحظ، حظاً وافراً في مسابقات الأعداد القادمة.

كيف تعمل الأشياء

وحدة المعالجة المركزية

(الجزء الأول)

إعداد : د. ناصر بن عبدالله الرشيد

تمثل وحدة المعالجة المركزية (Central Processing Unit-CPU) القلب النابض للحاسب الآلي، و يعد مسؤولاً عن كل ما يقوم به الحاسب الآلي. فهو يحدد - جزئياً - نظام التشغيل الذي يمكن أن تستخدمه، والحزم البرمجية المتاحة، وكمية الطاقة التي يستهلكها الجهاز، ومدى استقرار النظام بشكل عام، بالإضافة إلى أمور أخرى. كما يلعب المعالج دوراً رئيسياً في تكلفة النظام ككل، وكلما كان المعالج أحدث وأقوى، كلما زادت تكلفة الحاسب، وفي الغالب يشار إليه باسم "المعالج" فقط، بدلاً من "المعالج الدقيق" (Macroprocessor).

تصنع معظم المعالجات من السليكون لوفرته ورخص ثمنه، إضافة إلى إمكانية الحصول منه على بلورات كبيرة عالية الجودة؛ يمكن تقطيعها إلى عدد كبير من الرقائق (Wafers) تقل سماكتها عن ١ مليمتر، ولهذا يعد السليكون أكثر المواد شعبية في هذا المجال. كما يمكن تصنيع المعالجات من أي مادة أخرى شبه موصلة في حال إمكانية الحصول على أجزاء منها عالية الجودة. تتمثل مهام المعالج بثلاث مهام أساسية هي : قراءة البيانات، ومعالجتها، وتخزينها بالذاكرة.

يقوم المعالج بتخزين المعلومات الخاصة بعمليات وحدة المعالجة المركزية في الذاكرة على شكل (Bytes)، وهذه المعلومات إما أن تكون تعليمات (التعليمات هي التي توجه وحدة المعالجة المركزية إلى ما يجب فعله مع البيانات من جمع وطرح ونقل على سبيل المثال)، أو بيانات (عبارة عن حرف أو عدد أو لون مثلاً).

مكونات المعالج

تتألف وحدة المعالجة المركزية من ملايين المفاتيح الأليكترونية (Transistors) الدقيقة التي لا ترى بالعين المجردة. تحفر هذه المفاتيح كيميائياً على رقاقة صغيرة من السليكون المصقول لا تتجاوز مساحتها ربع بوصة مربعة. تختزن المفاتيح الالكترونية الشحنات الكهربائية التي توافق واحد أو صفر، وهي اللغة التي تتواصل بها مكونات الحاسب وتفهمها، وبالتالي تتمكن من إجراء عمليات الحساب والمنطق.

يتكون المعالج بحد ذاته من الأجزاء التالية:

● شريحة السليكون

تقل مساحة شريحة السليكون عادة عن نصف بوصة مربعة، تحتوي على ملايين المفاتيح الإلكترونية (الترانزستورات)، وهذه تحتاج إلى بيئة محكمة بعناية فائقة، لكي تعمل بالشكل الصحيح. وعلى الرغم من أن معظم المعالجات مصنوعة من السليكون، إلا أنه من الممكن استخدام أي مادة أخرى شبه موصلة (Semiconductor)، إذا أمكن تصنيعها على شكل أجزاء عالية الجودة، وبالقياس المطلوب. ولكن نظراً لأن السليكون متوفر ورخيص نسبياً، فإنه يعد أكثر المواد شعبية في هذا المجال وهو مناسب جداً بسبب إمكانية الحصول منه على بلورات كبيرة بجودة عالية ومنتظمة. ويمكن أن يصل عرض البلورة الواحدة إلى ٨ بوصات، وهو أمر مهم لأن الشركات المصنّعة ترغب في تقطيع البلورة الواحدة إلى أكبر عدد ممكن من الشرائح الرقيقة (Wafers)، تقل سماكتها عن واحد مليمتر، ثم تقطع هذه الشرائح إلى رقاقات يطلق عليه الدوائر المتكاملة (Integrated Circles-IC)، تتم معالجتها كيميائياً قبل تقطيعها إلى رقاقات مستقلة، ومن ثم تطبيق التصميم المنطقي للمعالج على الرقاقة، بعملية الحفر الضوئي (Photolithography) ، ويتم في هذه الخطوة بناء ترانزستورات وأسلاك دقيقة على الرقاقة، في سلسلة مؤلفة من عشر طبقات أو أكثر (تسمّى الأقنعة). وبعد أن تنتهي عمليات إنشاء الطبقات، تختبر الرقاقة عدة مرات للتأكد من أن الترانزستورات والأسلاك في مواقعها المناسبة، وتعمل بشكل صحيح، ثم توضع ضمن الغلاف.

● الغلاف

يقوم الغلاف بحماية المعالج من الملوثات (مثل الهواء)، ويمكّنه من خلال الإبر التلاحم مع دارات اللوحة الأم (Mother Board)، وبالتالي مع النظام ككل. ويتمثل دوره في حماية الرقاقة ، كما يلعب دوراً هاماً في تبديد الحرارة، وتأمين ارتباط المعالج مع اللوحة الأم.

تغيّر الغلاف بشكل كبير عبر السنين، مع تبنّي طرق جديدة لمختلف تصاميم المعالجات، ومن أهم أشكال الغلاف ما يلي:

- **الغلاف ثنائي الصفوف**، وهو عبارة عن غلاف ثنائي الصفوف

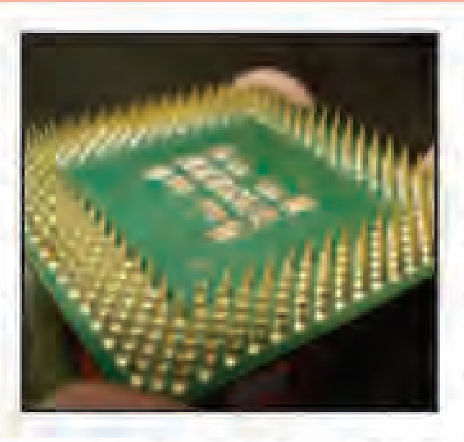
(Dual In-line package-DIP)، حيث تؤمن مجموعتين متوازيتين مؤلفتين من أربعين إبرة أو أكثر، للاتصال مع اللوحة - الأم (Mother Board)، شكل(١). ومن عيوب هذا التصميم المتوازي، أن عمليات الترقية (Upgrading) التي يمكن إجراؤها على الغلاف، لا تسمح بتوسع كبير في إبر الاتصال (Connectors)، إذ سيصبح الغلاف طويلاً جداً، كما أن الإشارات القادمة من الإبر الموجودة عند نهايات الغلاف، تتطلب للوصول إلى رقاقة المعالج زمناً أطول من الزمن الذي تحتاجه الإبر الموضوعة على مقربة من المعالج.

- **الغلاف المربع**، وقد قدمته شركة إنتل مع معالج ٨٠٢٨٦ - يطلق عليه مصفوفة الشبكة الإبرية - (Pin-Grid Array-PGA) تلافياً للعيوب السابقة التي ظهرت في الغلاف ثنائي الصفوف، وهو غلاف مربع الشكل يحتوي على صفين أو ثلاثة أو حتى أربعة من الابر الموزعة على مسافات متساوية من بعضها بعض، ومرتبة حول منطقة مركزية، بحيث تدخل الابر في الثقوب المخصصة لها في المقبس الموجود على اللوحة الأم، وقد بقي الغلاف المربع الشكل مسيطراً حتى الآن.

يستخدم معالج بينتيوم تصميم (Straggered pin-grid array) الذي ينظم ترتيب الإبر لكي يمكن وضعها إلى جانب بعضها بعضاً بشكل أكثر قرباً. أما معالج بينتيوم برو فيعتمد تصميماً يسمّى (Multi-Chip Module MCM)، لأنه يجمع رقاقتي وحدة المعالجة المركزية وذاكرة الكاش الثانوية (Level 2) في غلاف واحد.

- **غلاف (Leadless Chip Carrier - LCC)**، وهو الأحدث حيث يستخدم وسادات وصل صغيرة من الذهب لتأمين الاتصال مع اللوحة الأم بدلاً من الإبر.

- **أحزمة حامل الشريط**، وتوجد على



شكل أحزمة حاملة للشريط (Tape-Carrier Package-TCP)، وهي رقيقة مثل الفيلم الفوتوغرافي، وتلتحم باللوحة - الأم.

- **غلاف كارتريدج** (Single Edge Contact SEC)، وهو عبارة عن مصفوفة شبكة إبرية (Pin- Grid Array-PGA) متوضع على بطاقة، كل إبرة صغيرة ترتبط باللوحة الأم عبر شق واحد، وقد استخدم هذا النوع من الأغلفة في معالج بينتيوم الثاني. ويعد تصميم غلاف SEC مغرياً جداً لأنه يحتل مساحة أقل على اللوحة الأم، وله خواص كهربائية أفضل.

● وحدة الإدخال والإخراج

تتحكم وحدة الإدخال والإخراج بتسيير المعلومات من وإلى المعالج، ومن مهامها الرئيسية طلب البيانات والتنسيق مع الذاكرة العشوائية في تسيير البيانات، ومع أنه لا يوجد لهذه الوحدة أي تأثير في أداء المعالج، إلا أن كل معالج مزود بوحدة إدخال وإخراج تناسبه، وتأتي أهميتها للمعالج في كونها تحتوي على الذاكرة المخبأة من المستوى الأول (L1)، وليس بالإمكان ترقية أو تعديل هذه الوحدة، بل هي جزء لا يتجزأ من وحدة المعالجة المركزية نفسها.

● وحدة التحكم

تمثل وحدة التحكم (Central Unit) الجزء المهم في الحاسب الآلي الذي ينسق سير البيانات داخل المعالج وتقوم بالتنسيق بين مختلف أجزاء المعالج للقيام بالعمل المطلوب، وتتولى مسؤولية التأكد من عدم وجود أخطاء في التنسيق. لذا تعد العقل المدبر للمعالج، وهي جزء لا يتجزأ من وحدة المعالجة المركزية، ولذا فإنه لا يمكن ترقيتها أو تعديلها. وتقوم هذه الوحدة أيضاً بتنفيذ الوسائل المتطورة لتسريع تنفيذ البرامج. تتحكم هذه الوحدة بتردد المعالج، فإذا كان لديك معالج تردده ٧٠٠ ميجاهيرتز مثلاً، فهذا يعني أن وحدة التحكم فيه تعمل على تردد ٧٠٠ ميجاهيرتز.

● وحدة الحساب والمنطق

تتركز مهام وحدة الحساب والمنطق (Arithmetic and Logic Unit) في القيام بالعمليات الحسابية والمنطقية التي تحدث في الجهاز.

* مكونات وحدة الحساب والمنطق، وتتكون مما يلي:

- **وحدة الحساب**، وتشتمل على ثلاثة أجزاء، هي:

١- **وحدة الفاصلة العائمة**، وتوجد داخل المعالج وتختص في العمليات الحسابية الخاصة بالفاصلة العائمة. حيث تلعب دوراً رئيسياً في سرعة تشغيل البرامج التي تعتمد بشكل كبير على الاعداد العشرية وهي في الغالب الالعاب الثلاثية الابعاد وبرامج الرسم الهندسي.

تساعد قوة وحدة الفاصلة العائمة الكبيرة في تسريع الالعاب الثلاثية الأبعاد، مع أن دور المعالج قد قل خلال السنوات السابقة بفضل دخول البطاقات الرسومية ذات السرعة الكبيرة، مما قلل من الاعتماد على المعالج المركزي في هذا المجال.

توجد وحدة الفاصلة العائمة داخل المعالج في المعالجات ٤٨٦ فما أحدث (ما عدا المعالج SX ٤٨).

وقد كانت قبل ذلك توضع خارج المعالج وتسمى Math Co-Processor أي "معالج مساعد"، يؤدي وضع وحدة الفاصلة العائمة خارج المعالج (على اللوحة الأم) إلى بطء المعالج، ولذلك فإن جميع المعالجات اليوم يوجد فيها وحدة فاصلة عائمة داخل المعالج، ليس هذا فقط بل وحدة فاصلة عائمة متطورة.

٢- **وحدة الأعداد الصحيحة**، وتختص هذه الوحدة بالقيام بحسابات الأعداد الصحيحة، وتستعمل الأرقام الصحيحة في التطبيقات الثنائية الأبعاد، مثل برامج ورد وإكسل وبرامج الرسم الثنائية الأبعاد، كما تستعمل في معالجة النصوص. تعد قوة وحدة الأعداد الصحيحة مهمة جداً لأن أغلب المستخدمين يستعملون التطبيقات التقليدية أغلب الوقت.

٣- **المسجلات**، وهي عبارة عن منطقة تخزين داخلية، وتوجد داخل وحدة الحساب والمنطق، وتشكل ذاكرة سريعة جداً جداً، يخزن فيها المعالج الأرقام التي يريد أن يجري عليها حساباته، فالمعالج لا يمكنه القيام بأي عملية حسابية إلا بعد أن يجلب الأرقام المراد إجراء العمليات عليها إلى المسجلات. ويمكن معرفة أهمية المسجلات إذا علمنا أن حجم المسجل يعد أحد الطرق الهامة لتحديد هوية المعالج، فمصطلح معالج عيار ١٦بت يعني أن مسجل المعالج يتسع لـ ١٦بت، والمعالج عيار ٣٢بت يحتوي على مسجل يتسع لـ ٣٢بت، وهكذا.

يعد حجم المسجلات مهم جداً حيث يقوم الحاسب بإجراء الحسابات عليها، ويقاس بالبت بدلاً من البايت بسبب صغر حجمها، ومن الأخطاء الشائعة بين الناس قياس قدرة المعالج بأنه ٣٢ بت استناداً إلى عرض ناقل النظام، والصحيح قياس المعالج بحجم مسجلاته.

ـ وحدة المنطق (Logic Gate)، وتتكون من ترانزستور واحد على الأقل، وفيها يتم ترتيب المداخل والمخارج بشكل مختلف. تعمل البوابات المنطقية مع بعضها بعض لصنع القرارات باستخدام المنطق الجبري الذي أسسه العالم جورج بول، وقد أطلق عليه المنطق البوولي (Boolean Logic)، والذي يتكون من العمليات التالية:

– AND وتعطي خرجاً مساوياً للواحد، إذا كانت كلتا إشارتي الدخل تساوي الواحد.

– OR وتعطي خرجاً مساوياً للواحد إذا كانت إشارة واحدة على الأقل من إشارتي الدخل تساوي الواحد.

– NOT وتأخذ دخلاً وحيداً، وتعكس قيمته، فتعطي واحداً إذا كان الدخل صفر، والعكس بالعكس.

– NAND وهذه تنتشر بكثرة لأنها تستخدم ترانزستورين فقط بدلاً من ثلاثة ترانزستورات مستخدمة في بوابة AND ومع ذلك تقوم بوظيفة مماثلة.

● **تحسين وحدة الحساب والمنطق**، ويمكن ذلك بعدة طرق منها:

١- إضافة وحدة حساب ومنطق أخرى مما يعني القدرة على إجراء ضعف العمليات في الوقت نفسه، أما في حالة إضافة عدد من وحدات الحساب والمنطق فإن المعالج سينهي العمليات بسرعة أكبر، كما لو أن هناك عدداً من العمال يقومون بتنظيف أرضية الحجرة بدلاً من واحد فقط.

٢- دمج وحدة معالجة النقطة المتحركة في المعالج. هذه الوحدة تعالج حسابات الأرقام المتناهية الصغر والكبر بينما تصبح وحدة الحساب والمنطق حرة لتعالج شيئاً آخر.

٣- يمكن تسريع عمل المعالج بطريقتين، يطلق على الأولى منهما خطوط المعالجة (Piplining)، وهذه تسمح بقراءة تعليمة جديدة من الذاكرة قبل أن ينتهي من معالجة التعليمة الحالية. يمكن تشبيه ذلك بحركة أكثر من شخص على درجات سلم واحد فبمجرد أن يرفع أحدهم رجله من عتبة السلم تصبح جاهزة لاستقبال رجل آخر. كما يمكن في بعض المعالجات أن يتم العمل على عدة تعليمات في آن واحد، ويعتمد سريان التعليمات في المعالج المتتابعة على عمق الخط (Pipeline Depth)، وقد كان عمق الخط واحد فقط في معالجات إنتل الأولى وحتى المعالج ٨٠٢٨٦ وقد قفز الرقم إلى أربع في معالجات ٨٠٤٨٦، وهذا يعني أنه يمكن لأربع تعليمات كحد أقصى أن تكون في مراحل مختلفة من المعالجة، أما في معالجات بنتيوم فقد أصبح خمس مراحل، كما تمكنت MMX من زيادة هذا العدد.

أما الطريقة الثانية فيطلق عليها التنفيذ فائق التدرج (Super Calar Exection) وفي هذه الحالة يحتوي المعالج على أكثر من خط معالجة، مما يعني أنه يستطيع تنفيذ أكثر من مجموعة تعليمات في آن واحد.

حيث يحتاج تنفيذ تعليمة ما لعدد من الخطوات المنفصلة من جلب وترجمة وغيرها، وحيث أنه ينبغي للمعالج أن ينتهي من تنفيذ عملية في دورة كاملة قبل الشروع في عملية أخرى، ولذلك تم إيجاد أكثر من خط معالجة فإن دوائر منفصلة تقوم بهذه الخطوات المنفصلة، وهذا يسمح للترانزستورات التي تعالج تعليمة ما تصبح مستعدة لاستقبال تعليمة أخرى بمجرد ما تنتقل منها التعليمة السابقة إلى غيرها.

٤- إضافات أخرى حسنت كثيراً من الأداء مثل التنبؤ الفرعي والتي يمكن من خلالها تخمين أي خطوة فرعية قد يأخذها البرنامج، والتنفيذ الحدسي (Execution Specilation) ويعني تنفيذ ما تم التنبؤ به، وكذلك القدرة على تنفيذ سلسلة تعليمات كاملة من البرنامج خارج ترتيبها وتسلسلها المعتاد بالبرنامج لتكون جاهزة وقت الطلب، وهو ما يعرف بـ "إتمام خارج التسلسل" أو (Out Completion Of-Order).

يتبع في العدد القادم.

مصطلحات علمية

● **تيار متردد** **Alternate Current**

تيار يغير اتجاهه مع الزمن مثل تيار المنازل.

● **فجوة الطاقة** **Band Gap**

الطاقة التي تلزم للإلكترونات الموجودة في حزمة التكافؤ حتى تنتقل إلى حزمة التوصيل.

● **المجسات الحيوية** **Biosensors**

جهاز للكشف على المركبات الحيوية وتصنيفها، مما يساعد على تحليلها واكتشاف التغيرات الوراثية المصاحبة للأمراض.

● **الغرف النظيفة**

Clean Rooms

المكان والبيئة المناسبة لتصنيع أشباه الموصلات والبحث العلمي، حيث تتميز بمستوى عال من التحكم بنقاوة الهواء داخلها وانخفاض الملوثات مثل الغبار والجراثيم المحمولة جواً والأبخرة الكيميائية. وعادة ما تصنف الغرف النظيفة الى درجات (١، ١٠، ١٠٠، ١٠٠٠) أقلها درجة أكثرها نقاوة.

● **أغشية أنابيب الكربون النانوية**

CNT Membranes

أنابيب كربون نانوية مصفوفة بشكل عمودي منتظم بجانب بعضها بعض لتشكل أغشية ذات مسامات تصل إلى ١ نانومتر، ويتم ملء الفراغات الصغيرة بين الأنابيب المصفوفة بمواد مثل الخزف لتعطي الأغشية مزيداً من الثبات. وتتميز هذه الأغشية بكفاءتها العالية في التحليل الطيفي لطاقة الإلكترون (Electron).

● **المواد المتباينة** **Contrast Agents**

مواد تسمى أحياناً بالأصباغ وتستخدم لإبراز وإيضاح الأجهزة والأنسجة في الجسم لتصبح أكثر وضوحاً، وبذلك تستطيع الأشعة تحديد مدى وجود المرض أو الإصابة.

● **تيار مستمر** **Direct Current**

تيار لا يتغير اتجاهه مع الزمن مثل تيار البطاريات.

● **التطعيم** **Doping**

طريقة لتغيير خواص المادة بنسب مدروسة مما ينتج عنها إلكترونات حرة داخل المادة (n-type) أو نقص فيها (p-type).

● **التحليل الطيفي للطاقة المتفرقة**

Energy Dispersive Spectroscopy - EDS

جهاز يتم عن طريقه معرفة المركبات والعناصر الكيميائية، وذلك بتحليل الأشعة السينية الناتجة من تفاعل الإلكترونات مع مادة معينة.

● **الوصلة الثنائية** **Junction**

المنطقة المشتركة بين مادتين شبه موصلتين واحداهما من النوع الموجب والأخرى من النوع السالب.

● **قوة التكبير** **Magnification**

النسبة بين حجم الصورة إلى الهدف، وتكون متغيرة بتغيير المسافة بين الهدف والعدسة الأخيرة (العين) أو بوضع عدسة بين الإثنين.

● **التشغيل الدقيق**

Micromachining

مصطلح لعمليات التشغيل للأجهزة الدقيقة، وعمل به كتعريف لصناعة أشباه الموصلات.

● **التصوير بالرنين المغناطيسي** **MRI**

نوع من التصوير الطبي يعتمد على رصد حركة البروتونات في ذرات الجسم بعد تعرضها لمجال مغناطيسي محدد، وينتج عن ذلك صورة تشريحية لأجزاء الجهاز العصبي والعمود الفقري والمفاصل المختلفة بالإضافة إلى الأنسجة الرخوية، ولكنه لا يستخدم للمرضى المثبت لهم أجهزة تنظيم ضربات القلب أو أجزاء فلزية جراحية.

● **جهاز الرسم الهندسي النانوي**

Nanolithography

جهاز يستعمل الإلكترونات في الرسم المباشر على العينات.

● **النقط الكمية** **Quantum Dots**

حبيبات مكونة من أشباه الموصلات تتراوح أقطارها ما بين ١ نانومتر إلى أقل من ١٠ نانومتر، وتتميز بأن حركة الإلكترون داخلها محدودة الأبعاد الثلاثة.

● **مدى الدقة** **Resolution**

النقطة التي من خلالها يمكن التمييز بين جسمين أو أكثر كجسم منفرد ومنفصل.

● **عناصر صغرى**

Trace Element

عناصر كيميائية مطلوبة بكميات دقيقة للكائن الحي للنمو السليم، والتنمية ولإكمال وظائف الأعضاء.

● **المجهر الإلكتروني النفاذ**

Transmission Electron Microscope - TEM

جهاز يحتوي على مجموعة من العدسات الكهرومغناطيسية يعمل على تكبير وتوضيح الأشياء باستخدام حزمة من الإلكترونات تتسارع في أنبوب مفرغ لتمر من خلال العينة ثم تكون الصورة النهائية.



دراسات فيزيائية كيميائية على بعض البوليمرات الطبيعية العامة المحتوية على مجموعات السلفات والقابلة للذوبان في الماء

تتعرض الكثير من الفلزات للتآكل (Corrosion) نتيجة لتفاعلها مع الأحماض الموجودة في البيئة التي تتواجد فيها هذه الفلزات، أو قد تدخل في تركيب المواد الحافظة للأغذية المعلبة التي تستخدم فيها الفلزات لتعبئة هذه الأغذية.

ونظرا لاستخدام الألمنيوم والقصدير على نطاق واسع في تعبئة المواد الغذائية فإن تعرضهما للتآكل بسبب الأحماض - خصوصا حامض الكلور والنيتروجين - فإن البحث عن مثبطات لتآكل هذين الفلزين يعد أمرا حيويا لمنع التسمم الناجم عن تناول هذه الأغذية المعلبة بهما، كما أن البحث عن مواد مثبطة طبيعية يعد مرغوبا لتدني تكلفتها وسلامتها بيئيا.

تعد المركبات المستخرجة من الطحلب البحري (Garrageen) المعروفة بالكارجيتان (Carrageenan) من المواد المعروفة بتثبيطها للتآكل، وهي مركبات عديدة السكريات تذوب في الماء ويشيع استخدامها في الصناعات الغذائية والصناعات الدوائية.

على ضوء ما ذكر أعلاه استشعرت **مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية** أهمية المشروع المقدم من الطالبة **علياء عبدالعزيز عدنان ألفي** من جامعة أم القرى وأن دعمه من شأنه أن يساعد في حل مشكلة بيئية ماثلة للعيان. أجرى البحث تحت رقم أ ط-١٢-٥٢ بجامعة أم القرى كأحد متطلبات درجة الماجستير للطالبة المذكورة، التي نالتها عام ١٤٢٧هـ. وكان المشرف على الدراسة أ.د. **خالد سليمان خيرو**.

● أهداف البحث

يهدف البحث إلى تحديد مدى كفاءة مادة طبيعية مستخرجة من الأعشاب البحرية في منع تآكل الألمنيوم عند تعرضه لتراكيز مختلفة من حامض الكلور، وكذلك منع التآكل الذي يحدث لفلزات القصدير عند تعرضها بتراكيز مختلفة من حامض النيتروجين. وقد تم اختيار هذين الفلزين لأهميتهما في كثير من الصناعات الغذائية والدوائية.

كذلك امتدت الدراسة لمعرفة أثر درجة الحرارة على التآكل، وتحديد ثابت التفكك (Dissociation Constant) للمواد المثبطة للتآكل والمستخدمة في هذه الدراسة.

● خطوات البحث

١- تم اختيار ثلاثة من بوليمرات الكاراجينان هي:

- كابا كاراجينان (k-Carrageenan).

- إيوتا- كاراجينان (i-Carrageenan).
- لامبدا- كارا جينان (λ-Carrageenan).

٢- تم قياس التغير الذي يحدث في قياس ثابت تفكك البوليمرات الثلاثة باختلاف الرقم الهيدروجيني للوسط عند إضافة كميات مختلفة من هيدروكسيد الصوديوم من أي من البوليمرات المذكورة.

٣- تم قياس تآكل الألمنيوم في وجود $١×١٠^{-٢}$ عياري (10^{-2} M) من المحاليل الثلاثة من الكاراجينانات عند إضافة كميات مختلفة من حامض الكلور، وذلك بطريقة فقد الوزن أو الطريقة الثيرمومترية.

٤- تم تكرار الخطوة السابقة باستخدام فلز القصدير كمادة قابلة للتآكل في وجود حامض النيتروجين.

● نتائج البحث

أشارت الدراسة إلى مايلي :-

١- أظهرت الدراسة أن ثابت تفكك البوليمرات الثلاثة يقل بزيادة إضافة هيدروكسيد الصوديوم، وأنه أقل قليلاً من ثابت تفكك مجموعة السلفات (SO_3 group) التي لها ثابت تفكك = ٣ تقريباً.

٢- أظهرت الدراسة أن أنسب تركيز لدراسة تآكل الألمنيوم بواسطة حامض الكلور هو ٢ عياري (2Molar)، وأن معدل التآكل يزداد بزيادة تركيز كل من الحامض والزمن.

٣- أدت إضافة مثبطات التآكل من مركبات الكاراجينانات (Carrageenans) الثلاث إلى زيادة التثبيط بزيادة التركيز من $٥×١٠^{-٦}$ عياري إلى $٥×١٠^{-٣}$ عياري.

٤- تعتمد كفاءة التثبيط لتآكل الألمنيوم بواسطة حامض الكلور على نوع الكاراجينان حيث يعد لامبدا - كاراجينان (III) الأكثر كفاءة، يليه إيوتا- كارا جينان (II)، وأخيرا كابا- كاراجينان (I)، أي أنها بالترتيب كالتالي: (III>II>I).

٥- أظهرت الدراسة أن ثابت تفكك الكاراجينانات الثلاثة يزداد عل الترتيب التالي: (I>II>III)، مما يشير إلى أن البوليمر ذو ثابت التفكك الأقل هو الأكثر كفاءة في تثبيط التآكل.

٦- بلغت نسبة تثبيط تآكل الألمنيوم بواسطة حامض الكلور باستخدام لامبدا - كاراجينان كمثبط وبتركيز $٥×١٠^{-٣}$ عياري حوالي ٩٨٪.

٧- أظهرت تجارب تآكل القصدير بواسطة حامض النيتروجين (Nitric Acid) أن التآكل يزداد بزيادة تركيز الحامض وأن أنسب تركيز للدراسة هو ٠,٥ عياري.

٨- مثلما حدث في حالة الألمنيوم ازدادت نسبة تثبيط التآكل للقصدير المعرض لحامض النيتروجين بزيادة تركيز المثبط - الكاراجينان - من $٥×١٠^{-٦}$ عياري إلى $٥×١٠^{-٣}$ عياري، وبنفس الترتيب للبوليمر المثبط أي: (III>II>I)

٩- بلغت نسبة تثبيط تآكل القصدير باستخدام لامبدا - كاراجينان بتركيز $٥×١٠^{-٣}$ حوالي ٩٤٪.

١٠- ظهرت الدراسة أن معدل التآكل لكل من الألمنيوم في حامض الكلور، والقصدير في حامض النيتروجين يزداد بارتفاع درجة الحرارة.

١١- أظهر الفحص المجهري لأسطح فلزي الألمنيوم والقصدير في وجود حامض الكلور والنيتروجين على التوالي، أن وجود أي من المثبطات الثلاثة بتركيز $٥×١٠^{-٣}$ عياري يقلل من عملية التآكل بشكل واضح، وأن أكثر المثبطات كفاءة لحماية سطح الفلز هو المركب لامبدا- كاراجينان (المركب-III) مما يؤكد صحة نتائج دراسات الفقد في الوزن والطريقة الثرمومترية.



النبات يتنفس ويعطي طاقة

تتنفس معظم الحيوانات والنباتات حيث تأخذ الأكسجين وتطلق ثاني أكسيد الكربون، ويدعو علماء الأحياء هذه العملية عملية تبادل الغازات.

فلذات أكبادنا يمكنكم إجراء هذه التجربة لإثبات أن النبات يتنفس ويطلق طاقة حرارية أثناء تنفسه مثل الكائنات الحية الأخرى كالحيوان.

• الأدوات

١- وعاءان عازلان للحرارة (ثيرموس شاي) ويمكن استخدام وعاء زجاجي إذا لم يوجد وعاء عازل للحرارة .

٢- مقياسي حرارة (ثيرمومتر).

٣- بذور فول حية.

٤- بذور فول ميتة (مغلية).

٥- قطن طبي.

• خطوات العمل

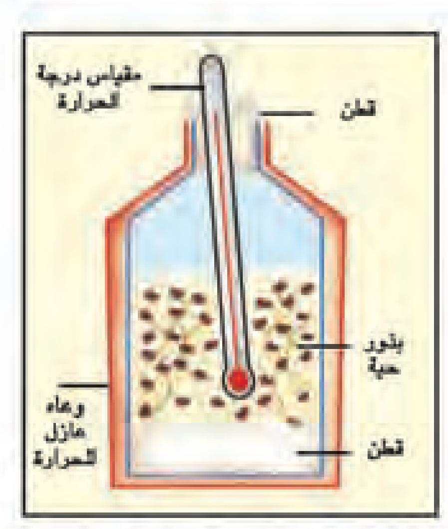
١- ضع في قاع أحد الوعائين قطن طبي، ثم ضع فوقها بذور الفول الحية ثم صب عليها كمية من الماء، ثم ضع أحد مقياسي الحرارة داخل الوعاء فوهة الوعاء بالقطن. شكل (١).

٢- اعمل نفس الخطوات مع الوعاء الآخر شكل (٢)، ولكن ضع فيه البذور الميتة.

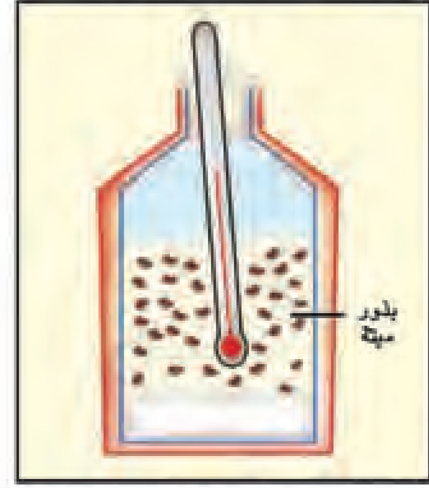
٣- ضع الوعائين في مكان واحد، وبعد عدة أيام اقرأ مقياسي الحرارة، ماذا تشاهد؟

• المشاهدة

نشاهد من قراءة مياسي الحرارة أن درجة الحرارة في الوعاء الذي يحتوي بذور نابتة (حية) أعلى من درجة الحرارة في الوعاء الذي يحتوي بذور ميتة.



• شكل (١) وعاء عازل للحرارة يحتوي على بذور حية



• شكل (٢) وعاء عازل للحرارة يحتوي على بذور ميتة

• الاستنتاج

نستنتج من هذه التجربة أنه نتيجة لعملية تنفس البذور تولدت الطاقة الحرارية، فظهر ذلك على مقياس الحرارة.

المصدر

مدخل إلى علم الأحياء (٤٢)

سلسلة أوسبورن

المؤسسة العربية للدراسات والنشر

● شريط المعلومات ● شريط المعلومات ● شريط المعلومات ● شريط المعلومات ● شريط المعلومات
● شريط المعلومات ● شريط المعلومات ● شريط المعلومات ● شريط المعلومات ● شريط المعلومات

عازل حراري صديق للبيئة

نجح الطالب **إبن باير** (Eben Bayer) من معهد ريسنلار التقني في ولاية فيرمونت في تصنيع عازل حراري من فطر عيش الغراب (Mushroom) والماء والدقيق والاملاح المعدنية بدلاً من العوازل الحرارية التي تستخدم في رغاوي البولي ستايرين والبولي يوريثين (Polystyrene and Polyurethane) المصنعة من المواد البترولية. يمتاز العازل الجديد بأنه صديق للبيئة بسبب أن مخلفاته غير ضارة بالبيئة، فضلاً عن أنه يقلل من استهلاك المواد البترولية المستخدمة حالياً في تصنيع العوازل الحرارية، وكذلك قلة تكلفة تصنيعه مقارنة بالعوازل الحالية.

وحسب وكالة الطاقة الامريكية يصل استهلاك الطاقة في المنازل إلى حوالي خمس كمية الطاقة المستهلكة في الولايات المتحدة سنوياً، وان ٥٠ إلى ٧٠٪ من هذه الطاقة تستخدم لاغراض التدفئة والتبريد، مما يؤكد الاهمية القصوى للعزل الحراري في خفض استهلاك الطاقة.

بالرغم من الاداء الجيد للعوازل الحرارية الحالية في خفض استهلاك الطاقة إلا انه يعاب عليها انها غير قابلة للتحلل الحيوي وتحتاج إلى البترول في تصنيعها، مما يجعل لها آثار سلبية على البيئة.

كان للخلفية الزراعية للطالب **باير** - نشأ في مزرعة والده - أثر بالغ في إكتشافه الخاص بتصنيع العازل الحيوي صديق البيئة، حيث قام بخلط حبيبات عزل مع أول اكسيد الهدروجين (H_2O_2) وأضاف اليهما نشأ وماء، ومن ثم قام بصب الخليط في قالب ونثر حوله خلايا فطر عيش الغراب، قام الفطر باستهلاك النشأ كطاقة لنموه، فشكلت خيوط الفطر (Mycelium) شبكة قوية ربطت الحبيبات العازلة بعضها ببعض منتجة لوح حيوي عازل للحرارة، بل إنه مقاوم للحريق.

ويذكر **بيرت سويرسي** (Burt Swersy) - محاضر في معهد ريسلاند التقني والمشرف على دراسة **باير** - أن فكرة استخدام عيش الغراب في تصنيع عازل حراري عضوي تعد فكرة واعدة يمكن أن ينتج عنها عازل حراري يمتاز بانه يخفض الطاقة باقل تكلفة ومتوافق مع البيئة، ولذلك فإن هذا العازل يمكن أن يكون بديلاً لعوازل الالياف الزجاجية و الرغويات البترولية.

في تطور آخر بدأ معهد ريسلاند في تطوير العازل الحيوي بانتاج عوازل اكبر حجماً بمواد أولية مختلفة وظروف صناعية مختلفة. وتهدف تلك الخطوة إلى تحسين جودة العازل من حيث المتانة والاستدامة، وكذلك تصنيع الواح عضوية تكون بديلاً لمواد البناء المستخدمة حالياً في تشييد المباني، الامر الذي يخفض من تكلفتها وكفاءتها في خفض الطاقة.

المصدر:-

www.sciencedaily.com/releases/2007/05/070506085628.htm

تدوير نفايات السجاد

يشكل النايلون مشكلة بيئية كبيرة بسبب أن ملايين الاطنان التي يتم طرحها سنوياً في الأرض غير قابلة للتدوير، مما يزيد من حدة التلوث البيئي.

يصنع بوليمر النايلون - ٦ (Nylon-6) - يستخدم في صناعة السجاد والملابس وأجزاء السيارات - عن طريق اتحاد جزيئات عديدة من مركب الكابرولاكتام (Caprolactam) المستخلص من البترول. ويذكر **اكيو كاميمورا** (Akio Kamimora) - باحث في الكيمياء العضوية بجامعة ياماقوشي اليابانية - أن الطرق الكيميائية الحالية لتكسير بوليمر النايلون -٦ إلى كابرولاكتام مرة أخرى غير فعالة بقدر كاف، وتتم تحت ضغط وحرارة عاليتين. فضلاً عن أن حرق البوليمر ضمن مكونات النفايات الاخرى يخلف مواد سامة مما يحتم البحث عن تقنية اخرى.

لذلك قام **كاميمورا** بالاشتراك مع **شقيهيرو ياماموتو** (Shigehiro Yamamoto) بتجربة وضع شرائح من النايلون -٦ مضافاً إليها كمية قليلة من محفز في عدة محاليل أيونية تحتوي على أيونات سالبة وموجبة عند درجة حرارة ٢٧٠°م. واظهرت النتائج تحلل ٧٪ فقط من النايلون -٦ إلى كابرولاكتام، في حين ارتفعت النسبة الى ٥٥٪ عند درجة الحرارة ٣٣٠°م، ولكن لوحظ تحلل جزء من ناتج الكابرولاكتام إلى مواد أخرى، ونتيجة لذلك بحث **كاميمورا وياماموتو** إجراء التفاعل عند درجة حرارة ٣٠٠°م، حيث ارتفعت النسبة إلى ٨٨٪، مع عدم تحلل أي نسبة من الكابرولاكتام وإمكانية استخدامه لخمس مرات دون فقده.

ويعلق **ميشل هارولد** (Michail Harold) - من جامعة هيوستن- أن هذه التجربة فريدة من نوعها لاستخدامها محاليل أيونية في بيئة تفاعل اقل ضراوة مقارنة بما يحدث لمحاليل أخرى، مع اقتراحه تذليل الصعوبات التي تواجه تطبيقها من الناحية الاقتصادية.

المصدر:-

http://www.sciencenews.org/articles/20070707/fob1.asp

فيروس شمعي يسبب سرطان الحنجرة

اشارت دراسة حديثة إلى أن سرطان الحنجرة واللوزتين (لوزتي الحلق) قد ينشأ من العدوى بأحد الفيروسات التي تنتقل عن طريق الممارسات الجنسية غير السوية. كما أورد الباحثون أن فيروس الحليموم البشري (Human Papilloma virus- HPV) قد يظهر في خلايا البلعوم للاشخاص الذين لديهم قابلية للإصابة بسرطان البلعوم (Oropharyngeal cancer) وذلك نتيجة الممارسات الجنسية غير السوية التي تتم عن طريق الفم مع عدة افراد خلال السنين الماضية، مما يدلل على أن هذه الممارسات الخاطئة والمحرمة في جميع الاديان السماوية سبب هذا السرطان.

من جانب آخر اشارت دراسات سابقة أن الإصابة بفيروس (HPV)- غالبا ليس لها أعراض سريرية سريعة- يمكن أن تتسبب في سرطان عنق الرحم، حيث يؤدي الفيروس إلى ظهور التهابات (Infections) موضعية، وعليه فإن الممارسات الجنسية المذكورة من شأنها أن تعرض الحنجرة واللوزتين للإصابة بالفيروس، وبالتالي السرطان.

وتذكر **ماورا جيلسون** (Maura Gillison) أن الفيروس لاينتشر خلال الدم، حيث قامت ومجموعتها البحثية بجامعة جون هوبكنز في بالتيمور بتحليل عينات من حناجر اشخاص مصابين بسرطان الحنجرة -١٠٠ شخص- وقارنتها بعينات حناجر ٢٠٠ شخص شخص غير مصابين بالمرض، فاتضح أن المصابين بالسرطان كانوا اكثر قابلية للإصابة بالفيروس (HPV) بمقدار ١٢ مرة مقارنة مع الاشخاص غير المصابين. كما أن الخلايا المسرطنة كانت لها قابلية لإحتواء بروتينات السلالة الفيروسية (HPV-16) بمقدار ٢٢ مرة اكثر من خلايا الحنجرة للاشخاص غير المصابين، وفي اختبار منفصل على نفس العينات وجد أن المادة الوراثية (DNA) للسلالة الفيروسية (HPV-16) ظهرت في ٧٢٪ من حالات الإصابة بالمرض.

يمكن الوقاية من الإصابة ببعض سرطانات الفم والحنجرة والبلعوم عن طريق استخدام اللقاحات المضادة للفيروس (HPV-16)، (HPV-18)، واللذان يسببان معظم حالات الإصابة بسرطان الرحم، حيث اثبت هذا اللقاح نجاحه في منع تكوين الخلايا السرطانية، وذلك في المناطق التناسلية والشرجية للنساء اللواتي لم يتعرضن للإصابة بالفيروس.

المصدر:-

http://www.sciencenews.org/articles/articles/20070512/fob1.asp



مـع القـــــراء

قراءنا الأعزاء:

نتلقى رسائلكم بلهف زائد لأنها تمثل نبض مشاعركم نحو المجلة سلبية كانت أم ايجابية، فإذا كانت سلبية حاولنا بكل ما نستطيع معالجتها أو تلافيها أو على الأقل التخفيف منها ما أمكن ذلك، أما إن كانت ايجابية ـ وهذا حقيقة مايسعدنا ـ فإننا سنبذل قصارى جهدنا لدعمها وتقويتها والمحافظة عليها.

ولاشك أن عدد الرسائل الذي يصل إلينا هو معيار تجاوب القراء ليعطينا فكرة عن مدى انتشارها وقبولها بين القراء ، ولكن في بعض الأحيان يؤسفنا ويحزننا عدم قدرتنا على تحقيق رغبات القراء وطلباتهم ، ولكن يعلم الله أننا نحاول جهدنا .

ولذا نأمل من قراءنا الأعزاء التماس العذر لنا في عدم تحقيق جميع طلباتهم خصوصاً ما يتعلق بإرسال المجلة، ونأمل أن تحقق التقنية الحديثة جزءاً من رغبات القراء حيث بدأنا في وضعها على شبكة الإنترنت.

والله من وراء القصد،،،

● **الأخ الكريم/ هاشم علي جعفر. السودان**

ببالغ الشكر والتقدير تلقينا رسالتك ويسرنا انتظام وصولها إليك ، إلا انه يؤسفنا الاعتذار عن تحقيق بعض طلباتك لإنها ليست من اختصاصنا ، أما الأعداد التي طلبتها فسنحاول إرسالها إليك حسب المتوفر منها في القريب العاجل.

● **الأخ الكريم / الجديد يوسف. الجزائر**

نشكرك على رسالتك الطويلة المحملة بعبارات الشكر والثناء على المجلة والقائمين عليها ، أما من حيث عتبك علينا لانقطاعها عنك في الفترة الأخيرة، فيؤسفنا ذلك وسنبحث عن السبب وستصلك بإستمرار بإذن الله.

● **الأخ الكريم /زين العابدين بن شنحوت. تونس**

أهلاً بك صديقاً جديداً من تونس الخضراء، ويسعدنا إدراج اسمك في قائمة الإهداءات. آملين أن تصلك المجلة على عنوانك الموضح في رسالتك دون انقطاع.

● **الأخت الكريمة/ فوزية رشيد عبدالرزاق. العراق**

نحمد الله على السمعة الطيبة التي تتمتع بها المجلة، وهذا هدف رئيس نصبو إليه ونسعى لتحقيقه والاستمرار عليه. أما بخصوص ماورد في رسالتك من طلبات، فيؤسفنا عدم تحقيقها لأنها ليست من اختصاصنا ولكن سنحيلها إلى جهة الاختصاص ، آملين أن تصلك الإجابة في أقرب وقت.

● **الأخ الكريم/ احمد علي سلامة. مكة المكرمة**

نقدر لك محبتك للخيل لأن ديننا الحنيف يحثنا على الاهتمام بها ، حيث يقول الصادق المصدوق " الخيل معقود في نواصيها الخير إلى يوم القيامة " وقد خصصنا أعداداً محددة عن الخيل حاولنا فيها تغطية جميع ما يتعلق بها من وصف وأنواع وسباقات وتاريخ وأدب وغيرها ، وهذه سياسة المجلة، وفي كل مرة نعالج موضوعاً آخر ولايمكن أن نعود إلى نفس الموضوع إلا بعد فترة طويلة ، يكون قد استجد فيه ما يستحق أن نصدر عدداً خاصاً بذلك.

● **الأخت الكريمة / سلمى محمد ناصر. سوريا**

نشكرك على رسالتك المحملة بعبارات الشكر والثناء على المجلة وعلى القائمين عليها ، كما يسعدنا أن نرحب بك صديقة جديدة للمجلة، وسنحاول بإذن الله إدراج اسمك في قائمة الإهداءات في أقرب فرصة.

● **الأخ الكريم/ محمد الحويل. بريدة**

ببالغ الشكر والتقدير تلقينا رسالتك وفهمنا مضمونها ونشكرك على ثنائك العاطر على المجلة ، ويسعدنا إدراج اسمك في قائمة من ترسل إليهم المجلة ، حتى ترفع عنك الحرج الذي تعاني منه عند استعارتها من بعض أصدقائك الذين تصل إليهم المجلة ، كما نأمل استمرار وصولها إليك على العنوان الذي أشرت إليه في رسالتك، كما نرجو إشعارنا عند حدوث أي تغيير في عنوانك حتى لاتعاد ومن ثم يتم حذف اسمك من القائمة.

● **الأخت الكريمة / سناء الكنفي. سوريا**

يسعدنا استمرار وصول المجلة إليك ومتابعتك ماينشر فيها ، فهذا ما نطمح إليه ونسعى إلى تحقيقه ، أما من حيث الكتب التي طلبتها فسنحاول تزويدك بها قدر الإمكان.

● **الأخ الكريم / لطفي سعد. الجزائر**

تلقينا المقال الذي أرسلته الى المجلة، ولكن يؤسفنا عدم نشره لانه لايتفق مع منهاج المجلة ولا يدخل ضمن اختصاصاتها، شاكرين لك ثقتك الغالية بالمجلة، ونتمنى أن تتاح لنا فرصة أخرى للتعاون معك.

● **الاخت الكريمة / أمينة كبراوي. الجزائر**

نشكر لك ثنائك العاطر على المجلة ، ويسعدنا إدراج اسمك في قائمة الإهداءات، وسنحاول تزويدك بالأعداد التي تغطي مواضيع فيزيائية حسب الإمكان.

● **الأخت الكريمة / غدير علي مبارك. جدة**

يسعدنا أن نتقدم لك بالشكر الجزيل على ثنائك العاطر على المجلة ، كما يسعدنا إدراج اسمك في قائمة الإهداءات ونأمل أن تصلك الاعداد القادمة بشكل متواصل.


في
العدد المقبل
سلامة
الغذاء

تقنية النانو وصناعة الطاقة (ص ٣٧)

مطابع مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية